

## 사면붕괴 피해 예방을 위한 낙석신호등 설치 사례 연구

김승현<sup>1\*</sup> · 구호본<sup>1</sup> · 이종현<sup>1</sup> · 백용<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 국토지반연구부

### A Case Study of the Rock-fall Signal Lamp System for Preventing the Damage at the Cut-Slopes

Seung-Hyun Kim<sup>1\*</sup>, Ho-Bon Koo<sup>1</sup>, Jong-Hyun Rhee<sup>1</sup>, and Yong Baek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geotechnical Engineering Research Dept, Korea Institute of Construction and Technology

집중강우에 의해 주로 발생하는 절토사면 붕괴는 인적, 물적 피해를 초래한다. 한국건설기술연구원은 예방 수단으로서 위험사면을 집중관리하고 있다. 지속적인 사면관리에도 불구하고 지구환경의 변화로 절토사면의 붕괴발생 빈도는 점차적으로 증가하고 있다. 이에 대책공법 적용이 어려운 절토사면에 대하여 상시계측시스템을 설치하고 있다. 상시계측시스템의 운용은 대인·대물 피해에 대한 조치로서 활용될 수 있으나, 강우시 절토사면의 붕괴 징후를 인지하더라도 관리자가 현장 관리 작업을 수행함에 있어서 시공간적 제약으로 인한 한계가 있다. 낙석신호등은 상시계측시스템을 통하여 사면 위험 징후가 발견될 시, 도로이용자에게 낙석발생에 대한 위험을 주지시키고, 붕괴시 도로관리자의 현장 도착 전까지 자동적으로 또는 수동적으로 도로를 차단시킴으로서 사면붕괴에 의한 피해를 예방하는 관리시스템의 일종이다.

**주요어 :** 절토사면유지관리시스템, 상시계측시스템, 사면붕괴, 낙석신호등

The failure of the road cut-slope due to heavy rains brings about lots of injuries and damage on national properties. KICT has developed CSMS system by means of prevention to manage the dangerous cut slopes. In spite of the continuous management, the frequency of cut-slopes failure is increasing the past due to changes of earth-environment. KICT has installed the "Real-Time Monitoring System" on dangerous slopes. The operation of Real-Time Monitoring System is used as a positive system to reduce injuries and damages. However, Although the slope manager is aware of the signs collapsed in advance, it has temporal and spatial limits until the slope manager performs the works which are preventing the accidents. When real time monitoring system finds out an indication of slope collapse, the Rock-fall Signal Lamp System makes road-users indicated the risk of cut slopes. It is a kind of prevention system that it will minimize the damages of the properties as suspension of traffic automatically or passively.

**Key words :** CSMS, real-time monitoring system, slope failure, rock-fall signal lamp

### 서 론

우리나라의 급속한 경제성장의 발판은 전국적인 도로망 확충에 있다고 할 수 있으며, 70% 이상이 산지로 구성된 지형적 특성상 도로건설에 따른 절토사면의 생성은 필연적이다. 1990년 이전의 도로 건설은 조급한 개통 시기와 넉넉하지 못한 경제사정, 그리고 기술적 낙

후 등으로 인하여 도로 시설 자체에만 관심을 가질 뿐 산지의 자연 평형상태를 깨는 절토사면의 안정성에는 관심 있는 접근이 미비하였다. 이 때, 형성된 위험절토사면은 오늘날까지 전국에 분포하고 있으며, 해빙기 및 장마철에 집중하여 매년 반복적으로 붕괴가 발생하는 상황이다.

과거에는 절토사면의 붕괴 발생 후 대책을 수립하는

\*Corresponding author: sshkim@kict.re.kr

사후 대책 위주의 절토사면 관리가 이루어져 왔으나, 최근에는 범정부적 차원에서 국민의 재산과 생명을 보호하기 위한 방편의 일환으로 위험절토사면을 사전에 파악하여 적절한 대책을 강구함으로써 붕괴를 사전에 차단하는 적극적인 방법이 모색되었다.

한국건설기술연구원에서는 1998년부터 전국 국도변에 산재하는 절토사면의 안정성 유지를 위해 「도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용(Cut Slope Management System, CSMS)」 프로젝트를 수행하고 있다(구호본 외, 2006). CSMS는 붕괴 발생 이전에 위험절토사면을 파악하여 이에 대한 적절한 대책을 강구함으로써 재해 발생에 대비하는 보다 적극적인 대처 방안이다(Fig. 1).

CSMS 운영으로 기존에 발생한 도로절토사면의 붕괴는 약 50% 이상 감소하였으나, 2002년 8월 태풍 ‘루사’에 의해 발생한 최대우량 76mm/hr, 일강우량 870.5 mm/day 의 기록적인 강우, 2003년 7월 한 달 동안 남부지방의 지속적인 강우(월 600 mm 이상), 2003년 9월 태풍 ‘매미’에 의한 강우(일강우량 410 mm/day) 등 최근 예측하지 못한 이상강우에 의해 절토사면 붕괴가 과거와 동일한 수준으로 다시 증가함에 따라 집중강우에 대비한 새로운 중·장기, 대책안의 제시가 필요하게 되었다(Table 1). 그러나 위험성이 인지된 절토사면이라 할 지라도 높이 30 m 이상의 대규모 절토사면, 상부자연사면 경사가 30°이상으로 급격한 산지형태를 가지는 경우,

국립공원 또는 문화재 관리 지역에 포함된 경우 등 절토사면의 안전율을 확보하기 위한 추가적인 대책공법 적용이 어려운 경우가 다수 발생할 수 있다. 이에, CSMS 시스템 운영과 더불어 최근에는 도로절토사면에 상시계측시스템을 설치하여 지반 거동을 감시함으로써 붕괴에 의한 피해를 최소화하는 노력이 진행 중이다. 대책공법 적용이 제한적인 절토사면에 대하여 상시계측시스템을 설치하여 운용 중에 있으며, 지속적으로 계측변위량을 측정하고 있다. 상시계측시스템은 이상 기후에 의한 예측하지 못한 집중강우가 발생했을 경우 지반변위를 계측함으로써 붕괴를 사전에 인지하여 차량이동 일시차단, 인명대피 등에 대한 응급조치를 취하여 인명피해를 최소화하는 것을 목적으로 2002년에 시범적으로 4개의 현장에 대하여 설치하였으며, 2007년 현재 위험절토사면 65개소에 대하여 상시계측시스템을 운용 중에 있다.

상시계측시스템을 통하여 대상사면의 붕괴 조짐이 사전에 인지될 경우, 이를 도로이용자에게 신속히 제공하여 도로이용자의 안전성을 미연에 확보할 필요가 있다. 2004년도부터는 상시계측시스템 관측결과 비교적 변위가 꾸준히 발생하며, 일일 교통량이 많아 낙석 또는 붕괴 발생시 피해도가 매우 클 것으로 판단되는 사면에 대하여 도로이용자가 낙석사고에 대비할 수 있고, 도로관리자의 효율적인 사면관리를 위하여 낙석신호등을 설치하게 되었다.

### 낙석신호등 시스템

#### 낙석신호등 설치 목적

절토사면은 급격한 지반환경 변화에 의해 붕괴되기도 하지만, 지속적이고 반복적인 유수의 유입, 지반공학적 약대의 존재 및 강도 특성 저하 등 점진적인 지반약화 및 이완암괴의 형성과 맞물려 붕괴되는 경우가 많다. 이에 착안하여 현재 붕괴가 예상되는 대규모 절토사면에 상시계측시스템을 설치하여 지반의 거동을 계측 및 분석하고 있다.

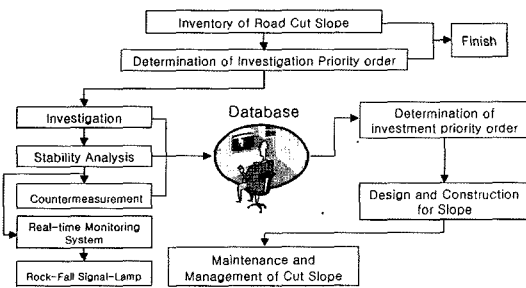


Fig. 1. Flowchart of the CSMS

Table 1. Status of the damages by the rock-falls and slope collapses

|                        | 1998   | 1999                | 2000        | 2001               | 2002                | 2003        | 2004  | 2005   | 누계                  |
|------------------------|--------|---------------------|-------------|--------------------|---------------------|-------------|-------|--------|---------------------|
| 발생건수 (개소)              | 87     | 50                  | 29          | 22                 | 81                  | 52          | 54    | 34     | 409                 |
| 발생규모 (m <sup>2</sup> ) | 43,329 | 11,263              | 21,686      | 13,086             | 137,536             | 19,315      | 7,382 | 10,535 | 264,152             |
| 피해내용                   | 차량 3   | 사망1<br>경상3<br>차량 11 | 경상1<br>차량 4 | 사망1<br>경상1<br>차량 2 | 사망4<br>경상3<br>차량 21 | 경상3<br>차량 3 | 경상1   | 차량 2   | 사망6<br>경상12<br>차량43 |

상시계측시스템은 직접적인 도로 현장 관리 주체인 국토유지건설사무소와 전국 상시계측시스템을 총괄 관리하는 한국건설기술연구원의 유기적 관계로 관리되고 있다. 그러나 상시계측시스템을 통해 절토사면 붕괴 징후가 인지되어도 국토유지건설사무소 관리자와 한국건설기술연구원의 연구원이 현장에 도착하는데 최소 2시간 이상이 소요되는 치명적인 문제점을 가지고 있다. 절토사면의 붕괴징후를 인지하더라도 정확한 붕괴시기를 예측하는 것은 기술의 한계상 거의 불가능하며, 때때로 붕괴징후 인지와 동시에 붕괴가 발생하는 경우도 알려져 있다. 따라서 담당자가 현장에 도착하여 제반 조치를 취하기 이전에 절토사면 붕괴가 발생되어 대국민적 피해를 유발하는 최악의 상황을 맞을 수 있다.

도로 방재 시스템이 잘 구축된 선진국의 경우, 낙석 산사태 발생예상 지역을 선정하여 일정 강우량 이상시 낙석의 피해감소를 위하여 도로차단규제시스템을 운영하고 있으며, 위험절토사면 인접지역에 무인감시시스템을 설치하여 상시변화를 관측하고 재해에 대비하고 있다(Brawner, 1994; Mikkelsen, 1996; Reid et al., 1999; Gili, 2000).

현재 관측되고 있는 절토사면에서 붕괴 징후가 인지되며, 이를 도로이용자에게 신속히 알려 절토사면 붕괴 가능성을 인식시킴으로서 안전사고를 예방할 필요가 있다. 이러한 사면의 위험성을 도로이용자에게 알리는 시스템을 사전 경보 시스템이라고 하며, 위험 정보를 제공하는 방법으로 낙석 위험지구에 대한 입간판, 낙석신호등, 도로통행 차단기, 도로전광판 등이 활용될 수 있다. 이 중 낙석신호등은 차량통행 또는 보행자를 위하여 횡단보도에 사용되는 신호등과 유사한 것으로, 절토사면에서 위험 징후가 발견될 경우, 도로이용자에게 주의를 환기시키고, 절토사면 붕괴시 도로를 일시적으로 차단하여 차량 피해를 예방하고자 설치하는 것이다(Fig. 2). 즉 상시계측시스템과 연계하여 변위나 붕괴 발생시 자동 및 원격 제어를 통하여 조기경보 교통차단을 실시하는 것이 낙석신호등 설치의 목적이라 하겠다. 이를 통하여 국가 ITS 네트워크에 준한 시스템이 구성되게 되며, 낙석신호등 설치현장, 국토유지건설사무소, 한국건설기술연구원을 연계한 3단계중첩시스템으로 운영환경을 구성할 수 있게 된다. 또한 자료 수집의 실시간 상시감시체계를 확보하여 돌발상황 관리시스템이 구축할 수 있게 된다.

**낙석신호등 설치사면 선정방법 및 기준**

상시계측시스템을 도입하여 집중관리하고 있는 위험

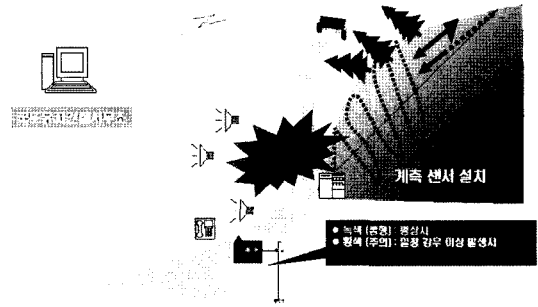


Fig. 2. Diagram of the Rock-fall signal Lamp System.

절토사면은 상세한 현장조사를 통하여 추가 거동이 예상된다 할지라도 대형사면이거나 상부자연사면의 구배가 급하고, 현지 여건상 소극적인 낙석제어공법 적용할 수밖에 없고 추가적인 절취공법의 적용이 어려운 국·공립공원 등지에 위치하여 안전을 확보 공법을 적용할 수 없는 사면들이 대부분이다.

상시계측시스템 설치 사면에는 붕괴가 우려되는 구간을 중심으로 신축계, 지표변위경사계, 우량계, 온도계 등의 센서가 설치된다. 상시계측시스템 내 센서에서 절토사면의 지반변위가 발생되게 되면 각 센서의 변위량을 감지하게 되고, 이 값은 수동/자동으로 현장 모뎀에 자동으로 저장되고 동시에 관리자의 컴퓨터로 전송된다. 각 센서별로는 임계 변위량이 설정되어 있고, 측정 변위량이 이들 임계 변위량을 초과하게 되면 알람경고가 발현되며, PC화면과 음성으로 계측관리자들에게 전달하게 된다. 또한 알람경고는 계측관리자 및 절토사면 유지관리업무 관련자들의 휴대폰을 통해서도 전송되게 되어 있어 계측모니터링을 직접적으로 관찰할 수 없는 절토사면 유지관리업무관리자들도 경고 메시지를 확인할 수 있게 되어 있다.

각 사면에 대한 임계변위량은 설치 사면에 대한 1년간의 시범운영과 지속적인 현장답사를 통하여 결정되며, 이들 결과를 바탕으로 임계변위량의 상·하한값이 각각의 센서에 부여되어 있다.

낙석신호등 설치 대상 사면은 상시계측시스템을 통하여 관측되는 변위값의 변화가 꾸준히 관찰되는 사면을 대상으로 특히 교통량이 상당하여 낙석 발생 또는 붕괴시 피해도가 상대적으로 매우 클 것으로 판단되는 사면에 대하여 우선적으로 적용하고 있다.

2007년 현재, 낙석신호등이 설치된 현장은 총 3개소로 “충청북도 제천시 송악면 무도리 느릅재 지구”, “충청북도 단양군 사평면 가곡리 고수재 지구”, “경상남도

고성군 동해면 내산리 지구”로 시범 설치 운용되고 있다.

**낙석신호등 시스템 구성요소**

낙석신호등 시스템은 현장장비, 센터장비, 통신장비로 나누어진다(Fig. 3).

현장장비는 낙석신호등, 낙석신호제어기, 통행안내표시기 및 모뎀으로 구성되며, 낙석신호등은 3색 신호등을 기본으로 한다. 낙석신호등의 신호체계는 다음 장에서 보다 상세히 설명하겠다. 낙석신호제어기는 현장에서 신호등을 제어하는 장치로서 방수시설을 갖춘 합체 안에 크게 제어를 총괄하는 주제어부(Main Control Unit)와 신호구동부(Signal Control Unit)를 비롯하여 외부장치와 입출력 신호접속을 위한 단자판과 기타 부대장치로 구성되며, 낙석신호등 제어와 통행안내표시기 제어 기능을 수행한다. 통행안내 표시기는 면발광 방식의 LED 타입으로 낙석신호등 아래 바로 설치하며, 3색 신호 체계와 함께 “통행”, “주의”, “정지” 3단계의 표시가 이루어지도록 구성되어 있다. 현장장비에 의하여 상황별 낙석신호등 자동 점등이 가능하며 관리자의 수동 스위치 작동에 의한 수동제어가 가능하다. 일반적으로 현장장비에 의한 낙석신호등 제어는 도로관리자가 현장에서 일방향 차량 통행을 조절할 경우에 사용되게 된다.

센터장비는 현장장비의 원격 제어 및 모니터링 장치로서 국토유지건설사무소의 지역운영서버와 한국건설기술연구원의 센터운영서버 및 운영단말, 센터 통신을 위한 센터 모뎀장치로 구성된다. 센터장비를 통해서도 낙석신호등의 제어가 가능하며, 사면 붕괴 인지 및 붕괴로 도로관리자 및 사면전문가가 현장에 도착하여 조치를 취하기 이전에 교통을 통제하는 경우에 사용되게 된다.

통신장비는 현장과 국토유지건설사무소의 지역운영서버, 현장과 한국건설기술연구원 센터운영서버 간에 통신 자료를 송수신하기 위한 일체 장비를 말하며, 회선집중기(Concentrator), 라우터(Router), DSU(Digital Service

Unit), 스위칭허브(Switching Hub)로 구성된다(Fig. 3).

현재 현장제어기와 직접제어는 국토유지건설사무소 시스템이 담당하고 있으며, 한국건설기술연구원 시스템은 국토유지건설사무소 시스템을 경유하여 현장제어기를 모니터링하고 제어하는 방식을 취하고 있다.

**낙석신호등 신호체계**

낙석신호등의 신호체계는 기존 설치 사례가 없는 것으로 표준모델이 정립되어 있지 않다. 본 연구에서는 도로이용자의 혼란을 없애기 위해서 낙석신호등과 통행안내표시기를 이용하여 색 신호와 문자 신호를 함께 표시할 수 있게 구성하였으며 발생상황에 따라 구분이 가능하도록 하였다(Table 2).

일상적인 모니터링 중에는 녹색(통행) 표시가 점등되게 된다. 만약 호우주의보가 발표되게 되면, 센터장비를 통하여 실시간 상황 모니터링을 실시함과 동시에 황색(주의) 표시가 자동으로 점등되게 되어 있으며, 만약 임계변위량을 초과하게 되면 적색(정지) 등이 점등되어, 차량이동을 제한하도록 조치하였다.

또한 지표변위계는 지표에 노출되어 있는 장비이므로 수목이 전도되거나, 동물의 이동에 의한 파손 등 사면 붕괴와 무관한 기타 요소에 의해 급작스러운 오작동이 발생될 수 있으므로 실시간 제어 및 원격제어를 통해 신호체계의 관리가 올바르게 이루어지도록 구현하였다.

**낙석신호등 설치 위치**

낙석신호등의 설치위치는 주행 중인 자동차의 속도와 관련된 정지거리와 붕괴산물의 낙하 시간을 고려하여 결정된다(배규진 외, 2002). 동일 높이에서 붕괴가 발생될 경우, 암반사면의 붕괴물이 낙하하는 속도는 토사사면에 비하여 빠르므로 안전사고를 예방할 수 있는 자동차의 정지거리는 보다 짧아져야 한다. 즉, 주행거리 60 km/h 의 도로에서 20 m 높이의 암반사면이 붕괴될 경우, 약

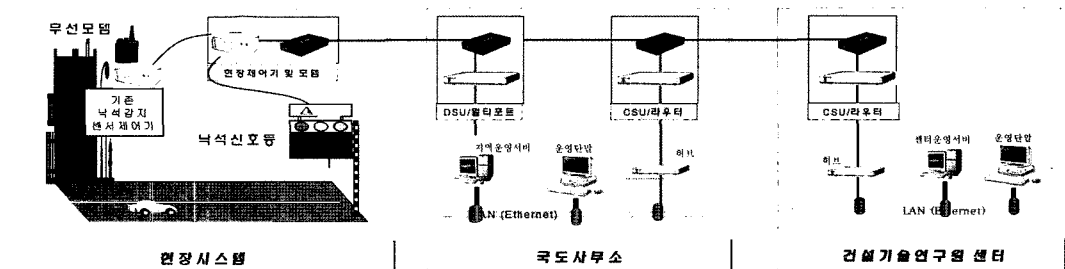
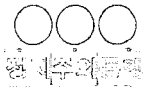
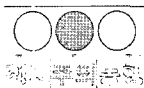

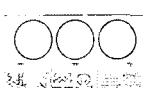
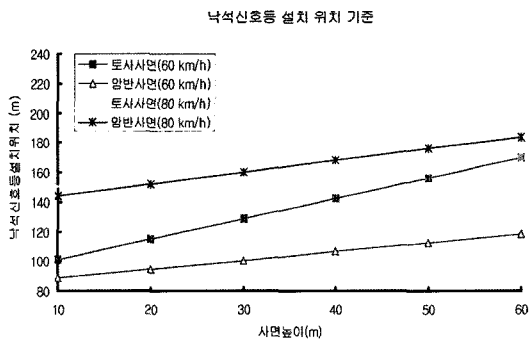


Fig. 3. Organization of the Rock-fall Signal Lamp System.

**Table 2.** Working plan of the Rock-fall Signal Lamp System classified by the situation.

| 상 황                | 운 영 방 안  |   |
|--------------------|--|---|
|                    | 한국건설기술연구원 사면상황실  | 낙석신호등   |
| 정상시                | - 일상적 모니터링   |  |
| 일정장우이상 발생시 (호우주의보) | - 실시간 상황 모니터링<br>- 상시 계측시스템과 영상 감시를 통한 강우 및 도로 교통상황 자료 수집 및 분석 |  |
| 변위 발생시             | - 임계변위량 초과시 적색 점등 및 차량이동 차단<br>- 도로 관리자 현장파견 및 관리              |  |
| 붕괴 및 낙석 제거 공사시     | - 관리자를 통한 일방향 통행 유도  |  |
| 오작동시               | - 실시간 상황 모니터링 및 제어<br>- 원격제어                                   |   |



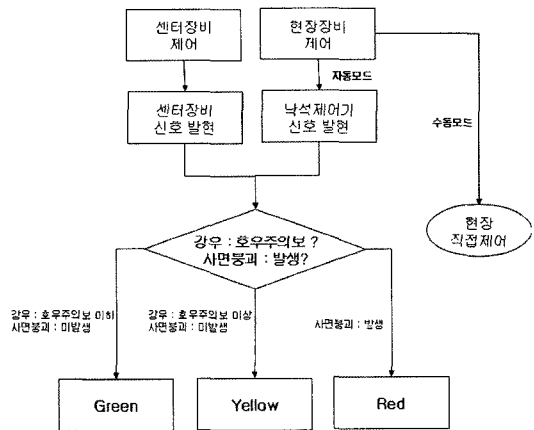
**Fig. 4.** Establishment location of the Rock-fall Signal Lamp System.

95 m 지점에 낙석신호등이 설치되어야 하며, 토사사면의 붕괴의 경우는 약 115 m 떨어진 지점에 낙석신호등이 설치되어야 된다(Fig. 4).

절토사면은 형상이나 표면부의 지반상태, 외부조건에 따라 붕괴 산물의 낙하속도가 달라지는 것이 자명한 현실이지만, 절토사면의 구성재료별 특성, 높이별 현황 등을 고려한 기준을 적용시킴으로서 낙석신호등 설치 위치의 선정을 보다 단순화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

**낙석신호등 시스템 운영 기준 및 관리방안**

낙석신호등은 자동모드와 수동모드의 호환이 가능하다(Fig. 5). 자동모드는 각 센서에서 임계변위량 기준 이



**Fig. 5.** Flowchart of the Rock-fall Signal system management.

상의 지반변위가 감지될 경우 도로관리자에게 CDMA를 통한 통보와 동시에 자동으로 "적색(정지) 신호 체계 전환을 통하여 교통 차단을 시행하는 방식이다. 또한 낙석신호등은 관리자에 의한 원격 및 현장 제어가 가능한데, 예를 들어 호우주의보가 발생시 또는 대상절토사면의 공사시 필요에 따라 수동으로 신호 체계 변환이 가능하다.

낙석신호등의 관리는 다음과 같이 이루어지게 된다. 첫째, 국토유지건설사무소와 한국건설기술연구원에서 동시에 현장 실시간 영상을 받아볼 수 있으며, 적절한 제어 상황을 모니터링하게 한다. 둘째, 실시간 상시 감시

로 신속한 상황 파악 및 대응이 가능하다. 셋째, 절토사면의 변위 및 낙석 등에 의한 재해 발생시 돌발상황 관리가 가능하여 돌발상황 대응에 따른 도로이용자에게 정보를 제공하게 된다.

### 낙석신호등 시스템 시범 설치 사례

2007년 현재 CSMS를 통하여 전국 국도변에는 총 65개소의 상시계측시스템이 설치·운영 중에 있으며, 계측변위량을 24시간 측정하고 있다(구호본 외, 2007). 계측 결과 비교적 변위가 꾸준히 발생되고, 일일교통량이 많아 절토사면 붕괴시 피해가 높을 곳으로 판단되는 현장인 충청북도 제천시 송악면 무도리 느릅재 2 지구와 충청북도 단양시 사평면 가곡리 고수재 A, B 지구(이하 고수재 지구)에 대한 낙석신호등 설치 사례를 살펴보고자 한다.

#### 제천시 송악면 무도리 느릅재 2지구

제천시 송악면 무도리 느릅재 2지구(이하 느릅재 지구)는 충청북도 제천시와 강원도 영월군을 잇는 국도 38호선에 위치하는 절토사면으로 절토사면으로부터 영월 방향으로 약 500 m 떨어진 지점에 느릅재 터널이 존재한다. 본 사면이 위치한 도로의 일일교통량은 17,728대(건설교통부, 2005)로 도로이용율이 매우 높다.

본 사면은 총연장 200 m, 최대높이 35m의 혼합사면이며, 절토사면의 사면 경사는 55°(1:0.7 구배)로 붕괴가 발생되기 이전에는 녹생토 시공으로 사면의 위험성이 인지될 수 없는 상황이어서 도로관리자의 집중 관심 대상 사면은 아니었다. 2002년 8월 태풍 “루사”와 함께 동반된 집중호우로 인하여 중상단부에 두껍게 피복된 석회암 분포구간과 중하단부의 흑운모화강암 분포구간의 경계부를 따라 표층붕괴가 발생하였다(Fig. 6, Fig. 7).

느릅재 지구의 구성암석은 기 분포된 석회암을 모암으로 흑운모화강암의 관입에 의해 이루어진 것으로, 중하단부는 약간풍화(slightly weathered) 등급의 흑운모화강암으로 구성되어 있으며, 중상단부는 완전풍화(completely weathered) 잔류토양(residual soils)의 석회암이 분포한다.

흑운모화강암 내 발달하는 불연속면은 대표적인 두 개의 세트(set)으로 구분할 수 있으며, 발달방향은 20/060, 75/036 으로 사면방향 55/035으로 불연속면의 안정성 평가에서는 “안정”한 것으로 나타났다. 즉, 본 사면은 암반 내 발달하는 불연속면의 방향보다는 이중(異



Fig. 6. Damage of vertical drainage due to collapses at Neureupjae site in 2002.



Fig. 7. Collapses of the upper parts at Neureupjae site in 2002.

種)의 암석의 경계면을 따라 화학적풍화 및 물리적풍화가 진행됨에 따라 차별풍화의 결과로 붕괴가 발생된 것으로 판단되었다.

붕괴 발생 후 절토사면 높이 등을 고려하여 상단부에 격자식 심줄박기를 실시하여 법면 자중에 의한 활동 토압에 저항하도록 하였고, 법면을 보호하여 지표수의 사면 내 침투를 최소화하며, 돌쌓기를 하는 등 붕괴 대책 소요 비용을 최소화 하였다. 본 절토사면은 녹생토로 덮여 있어 법면 관찰이 용이하지 않으므로 대책공법을 적용하지 않은 절토사면 하단부 부분과 최소한의 대책공법을 적용한 절토사면 상단부 전체 및 미붕괴구간에 대하여 지반 변위 여부를 인지하고, 향후 항구대책을 수립하기 위한 기초 자료를 취득하기 위하여 상시계측시스템을 설치하였다.

느릅재 지구의 계측기 설치수량은 지표변위경사계 16

개소, 강우계 1개소로 총 2종의 계측기를 17개소에 설치하여 실시간 자동으로 계측값을 측정하고 있다. 계측기 설치 단면 중 2002년도에 붕괴가 발생된 단면은 제 1단면과 제 6단면이었으며, 그 외의 구간에도 동일한 붕괴양상이 추가로 발생할 것을 우려하여, 약 15~20m 간격으로 총 6개의 단면을 설정하였다.

2004년 6월 태풍 “디엔무”와 “민들레”등의 수 차례 태풍으로 기존에 발생된 지점 부근을 중심으로 소규모 붕괴가 추가적으로 발생되었으며, 사면 중상단부의 석회암을 피복하고 있던 토사가 흑운모화강암 암반과의 경계부를 따라 활동한 것으로 과거의 붕괴 이력과 동일한 양상을 보였다. 또한 절토사면 상단부에 설치된 격자블록 하단구간에서 지하수가 유출되고 있었으며, 지하수에 의한 과잉 간극수압이 사면 파괴를 촉진한 것으로 판단된다. 느릅재 지구에 설치된 산마루측구는 측구 직상부 밀착 부분의 처리 불량, 측구 애프론(apron) 미설치 등으로 인하여 지반균열이 발생되었으며, 이 부분으로 지표수가 집중적으로 침투되는 등 사면으로 유입되는 지표수의 영향으로 사면 안정성에 저해되고 있음이 확인되었다.

느릅재 지구는 설치된 센서 등에서 임계변위량을 초과하는 지반변위가 감지되고 있으며, 터널입구부 가까이 위치하여 추가적인 낙석 및 붕괴 발생시 대규모 재해로 발전될 가능성이 높은 상황이었다. 느릅재 지구를 통과하는 도로의 경우, 제한속도 80 km/h로 운영되는 도로로, 사전에 도로이용자들이 지반 변위에 대처할 수 있는 시스템의 도입이 절실히 요구되었다. 느릅재 지구는 혼합사면이지만, 중상단부의 토사부의 위험성이 높기 때문에 이를 고려하여 토사사면의 약 40 m 높이의 기준을 적용하여 절토사면 전방 약 190 m 지점에 낙석신호등을 설치하였다(Fig. 8).

#### 단양군 가곡면 사평리 고수재 A, B 지구

단양군 가곡면 사평리 고수재 A, B 구(이하 고수재 A, B지구)은 영월-단양을 잇는 국도 59호선에 위치하고 있으며, 행정구역상 충청북도 단양군 가곡면 사평리에 해당한다. 고수재 지구는 총연장 300 m, 높이 30 m로 구성지반은 석회암의 붕적층이다. 본 절토사면은 2002년 태풍 “루사” 내습시 대규모 수해 피해가 발생한 구간으로 2002년 붕괴 당시에 전국에서 유일하게 교통 통제가 이루어졌던 곳이다.

고수재 A, B지구의 도로사면 원호파괴는 폭 70 m, 최대심도 3 m, 붕괴부 길이 약 20 m로 붕괴부의 규모가 대규모였다. 고수재 A, B지구는 사면 전체의 움직임이



Fig. 8. Rock-fall Signal Lamp System at Neureupjae site.

의심되었으므로, 이에 대한 대책공법으로 전구간에 대하여 높이 약 15 m까지 계단식옹벽을 설치하고, 3 m 간격으로 앵커를 타설하여 사면 보강을 실시한 바 있다. 또한 도로 전방에 위치한 하천부로는 도로에 근접하여 직하부로 개비온옹벽이 설치되어 있으며, 하천 사면부 최하부에는 콘크리트 계단식옹벽이, 하천 사면 중간부에는 억지말뚝 등이 시공되어 있다.

고수재 A, B지구의 도로하단부 하천부법면은 강우시 우수가 침투되어 배수가 이루어지지 않아 구조물이 손상되어 있으며 도로부의 이동에 의해 가드레일과 측대부가 밀려 있었다. 이러한 구조물의 이동에 의해 하천부법면 내 인장균열도 점차 증대되고 있는 것이 확인된 바 있다. 또한 파쇄대의 발달과 큰 공극으로 인한 지반의 지지력 지하로 상부 도로의 횡방향 균열 및 도로와 하부 사면의 추가적인 균열을 유발시켰다. 이상과 같은 현상의 근본적인 원인은 사면부에 다량의 우수가 지반 내로 유입함으로써 지반의 변위를 유발한 것이다. 즉 사면 전방에 걸쳐 원활한 배수 시설 설치가 미비하였으므로 지반의 변위를 최소화하기 위해 지표수의 유도 배수를 위한 시설물이 요구되었다. 현재 하천부 법면으로 추가적인 버트리식 개비온옹벽이 보강 설치되었으며, 도로부 사면 상부로 산마루측구를 설치하여 배수의 원활을 기하고 있다.

본 사면은 도로 상부의 절토사면 뿐만 아니라 하부의 남한강 주변 하천부법면에서도 다수의 인장균열이 발견

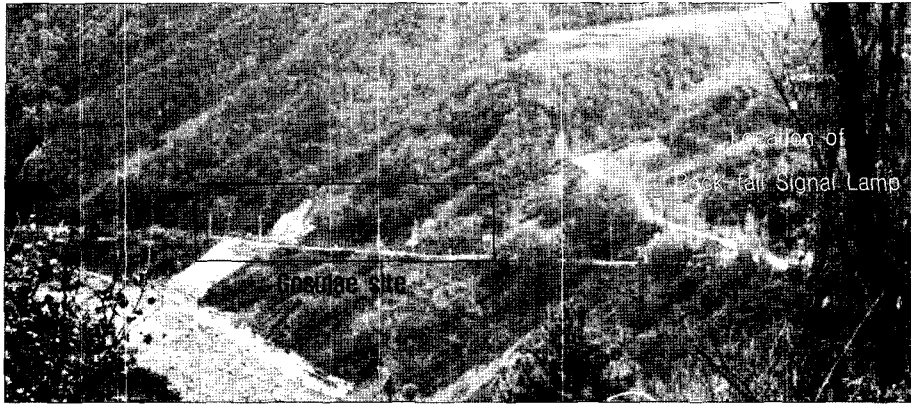


Fig. 9. Gosujae site and location of Rock-fall Signal Lamp.

되고, 지속적인 지반변위가 진행되고 있음이 확인되었고, 대규모 원호파괴가 예상되어 이를 사전에 감지하여 교통 통제를 실시하기 위하여 상시계측기 설치 지점으로 선정하였다.

계측기 설치수량은 제1단면~제6단면을 통합하여 지표 변위경사계 14개소, 변형률계 센서 32개소로 억지말뚝 4개소 계측, 강우계 1개소로 총 3종의 계측기를 19개소에 설치하여 무선 CDMA 모뎀을 통해 실시간 자동 계측 수행하고 있다.

상시계측시스템의 지속적인 모니터링을 통하여 2005년, 2006년에 걸쳐 고수재 A, B지구는 안정화되지 못하고, 계단식옹벽의 전도 현상이 인지되었고, 전방 도로포장 부분에서 횡방향 또는 종방향의 균열이 계속해서 발견되며, 지속적인 균열확장이 관찰되는 등 사면 뿐만 아니라 도로부를 포함한 지반 전체가 계속적으로 변위가 있음이 확인되었다.

특히 계단식옹벽으로 보강된 제5단면은 충분한 보강이 이루어졌다고 판단했음에도 불구하고, 계측기 설치 전부터 관찰된 옹벽부의 균열이 계측수행 기간동안 데이터의 증가와 함께 균열 폭이 증가되는 것이 현장에서 관찰되었다. 또한 계단식옹벽 하단부에 설치된 전신주 주위로 옹벽구조물 자체의 균열 및 이동이 관찰되며, 하천부 법면의 개비옹벽에서도 배부름 현상이 균열이 발생하여 진행되는 등 하천부에서부터 도로부 상부사면까지의 지반이 전체적으로 활동하고 있음이 상시계측시스템 자료 및 현장조사를 통해 확인되고 있다.

즉 임계변위량을 초과하는 지반변위가 관찰되고 있으며, 도로부의 지반 변위가 꾸준히 육안으로 관찰되는 등 도로이용자에게 위협을 줄 수 있는 요인들이 잠재되어 있는 상황이었다. 그러므로 고수재 지구를 통과하는 도

로의 경우, 제한속도 60 km/h로 운영되는 도로로, 사전에 도로이용자들이 지반 붕괴에 대처할 수 있는 시스템의 도입이 절실히 요구되었다. 고수재 지구의 낙석신호등은 제한속도와 높이, 구성재료 등을 고려하여 본 사면에는 절토사면 전방 약 100 m 지점에 설치하여 운용하고 있다(Fig. 9).

## 결 론

상시계측시스템을 설치한 위험절토사면에 대하여 붕괴 징후가 인지되었을 때 도로이용자에게 쉽게 위험상황을 인지하고, 낙석 재해에 대한 안전사고를 미연에 예방하기 위한 목적으로 낙석신호등을 개발·운용하고 있다.

낙석신호등은 차량통행 또는 보행자를 위하여 횡단보도에 사용되는 신호등과 유사한 것으로 절토사면에서 위험징후가 발견될 경우, 도로이용자에게 주의를 환기시키고, 절토사면 붕괴시 도로를 일시적으로 차단하여 차량피해를 미연에 예방하고자 설치하는 것이다. 낙석신호등 시스템은 현장장비를 통하여 현장제어기에 의한 상황별 낙석신호등 자동 점등이 가능하며, 관리자의 수동 스위치 작동에 의한 수동제어가 가능하다. 센터장비는 실시간으로 상황을 모니터링하고 낙석신호등 제어에 사용이 가능하며, 통신장비는 낙석신호등의 정보를 센터에 제공하는 데 사용하게 된다. 낙석신호등의 설치위치는 주행 중인 자동차의 속도와 관련된 정지거리와 붕괴산물의 낙하시간을 고려하여 결정되게 된다. 낙석신호등의 신호체계는 도로이용자의 혼란을 없애기 위하여 색 신호와 문자 신호를 함께 표시할 수 있게 구성하였으며, 발생상황에 따라 구분이 가능하도록 하였다.

낙석신호등 시스템은 상시계측시스템과 연계한 무인



원격조절시스템을 근간으로 운영하고 있다. 상시계측시스템 오작동에 따른 문제점을 해소하기 위해서는 낙석신호등 설치 현장에 영상카메라(web camera)를 설치함으로써 센터장비를 통한 관리가 이루어지도록 조치하여야 한다. 향후, 위험절토사면의 체계적인 관리를 위하여 시범설치 지구 운영의 효율성 검증을 통해 낙석신호등 시스템을 확대 설치할 계획이며, 낙석신호등 시스템과 상시계측시스템, 영상카메라를 통한 사면 재해 감시가 가능하도록 통합관리시스템을 구축할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부, 2005, 2004 도로교통량통계연보, 행정간행물 등록번호 42000-58710-26-0003.
- 구호본, 조용성, 정하익, 마상준, 김진만, 이성원, 박기석, 유준, 장수호, 김주형, 백용, 이대영, 김상근, 이주형, 이종현, 김승현, 김진환, 이정엽, 손영진, 송영갑, 권오일, 이규필, 김광엽, 김동민, 권용완, 최순옥, 최봉혁, 2006, 2005년도 도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용, 한국건설기술연구원, 건설교통부, 507p.
- 구호본, 정하익, 마상준, 김진만, 이성원, 박기석, 백용, 장수호, 김주형, 이종현, 김승현, 김진환, 이정엽, 손영진, 김승희, 권오일, 2007, 2006년도 도로절토사면 유지관리시스템 운영업무 연구보고서, 한국건설기술연구원, 건설교통부, 249p.
- 배규진, 구호본, 백용, 2002, 국내 도로절개면 현황 및 붕괴 분석을 통한 경보시스템 설치 기준에 관한 연구, 대한지질공학회지, 12, 53-61.
- Brawner, C.C. 1994, Rockfall Hazard Mitigation methods - Participant's Manual, Report No. FHWA SA-93-085, FHWA, U.S. Department of Transportation, 321p.
- Gili, J. A., Corominas J. and Rius J. 2000, Using global positioning system techniques in landsliding monitoring. *Engineering Geology*, 55, 167-192.
- Mikkelsen, P.E. 1996, Field Instrumentation. In : Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds), *Landslides Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press, Washington, DC, USA, 278-316.
- Reid, M., Lahusen, R.G. and Ellis, W.L., 1999, Real Time Monitoring of an Active Landslides. USGS Fact Sheet, 91-99.
- 
- 2007년 5월 2일 원고접수, 2007년 6월 14일 게재승인
- 김승현**  
한국건설기술연구원 국토지반연구부  
411-712, 경기 고양시 대화동 2311  
Tel: 031-910-0524  
Fax: 031-910-0561  
E-mail: sshkim@kict.re.kr
- 구호본**  
한국건설기술연구원 국토지반연구부  
411-712, 경기 고양시 대화동 2311  
Tel: 031-910-0217  
Fax: 031-910-0561  
E-mail: hbkoo@kict.re.kr
- 이종현**  
한국건설기술연구원 국토지반연구부  
411-712, 경기 고양시 대화동 2311  
Tel: 031-910-0227  
Fax: 031-910-0561  
E-mail: jhrhee@kict.re.kr
- 백용**  
한국건설기술연구원 국토지반연구부  
411-712, 경기 고양시 대화동 2311  
Tel: 031-910-0228  
Fax: 031-910-0561  
E-mail: back44@kict.re.kr