

유비쿼터스 기반 토석류 산사태 모니터링 시스템 개발에 관한 연구

김용균^{1,2} · 안대영¹ · 강대우² · 한병원^{1*}

¹(주)바이텍코리아 계측사업부, ²동아대학교 에너지 자원공학과

Study on the Development of Ubiquitous-Based Landslide with a Debris Flow Monitoring System

Yong-gyun Kim¹, Dae-young An¹, Dea-woo Kang², and Byung-won Han^{1*}

¹Instrumentation Headquarters, Baytech Korea Inc

²Dept. of Energy and Resources Engineering, Dong-A University

국내 사면관련 계측시스템은 주로 수동 및 육안관찰에 의한 계측관리가 대부분을 차지하고 있으며 주로 인공절취 사면을 중심으로 개발되어 자연사면을 대상으로 한 기술개발은 미진한 상태이다. 또한, 최근 기상이변, 집중호우에 의한 토석류 산사태가 빈번히 발생하고 있지만 초기예측 및 방재가 취약한 실정이다. 따라서 토석류 산사태에 대한 위험여부를 사전에 감지하여 신속한 대응이 가능한 유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 구축이 필요하다. 본 연구에서는 유비쿼터스 기반 산사태 모니터링 시스템 개발 및 계측관리기준 마련으로 인하여 국내 여건에 부합되는 새로운 계측기기 및 계측관리 기술의 지표를 마련하게 되었다.

주요어 : 토석류, 산사태, 유비쿼터스 센서 네트워크

Domestic slope related measuring system are mainly depending on manual and visual measurements and technical development for natural slopes is poor since the technology is developed focusing on artificial cut slopes. In addition, landslide with a debris flow is occurring frequently due to recent climate abnormally and heavy rains but early forecasts and prevention of disasters are in poor condition. Therefore, construction of ubiquitous sensor network (USN) capable of detecting dangers of landslide for rapid countermeasures is necessary. In this study, new measurements devices and measurement management techniques in compliance with domestic conditions are prepared by establishing ubiquitous based landslide monitoring system and standards of measurement management.

Key words : debris flow, landslide, ubiquitous sensor network

서 론

국토의 대부분이 산지로 이루어져 있는 우리나라는 이 산지를 중심으로 도로, 댐 및 철도 등이 건설되어 있고, 이들의 비탈면이 국내 산사태를 일으키고 주요 원 인되고 있는데, 강우가 집중하는 여름철이나 해빙기에 주로 나타나고 있으며, 이에 대한 방재 및 모니터링 시스템은 현재 절취사면을 중심으로 주로 실행되고 있다. 산사태 발생은 절취사면의 구조적 취약점도 문제가 되지만 집중강우로 인한 능선부 부근의 산사면에서 전이

형 활동의 토석류가 주변 토층을 침식 또는 붕괴시킴으로 일어나기도 한다.

최근 들어서 집중호우 및 태풍시 동반되는 강우로 인하여 토석류 산사태가 계곡을 중심으로 많이 발생하고 있어 이로 인한 인명과 재산의 피해가 크게 나타나고 있다. 현재 국내에서는 토석류에 의한 영향을 감지할 수 있는 시스템이 거의 없으며 토석류 산사태 발생시 초기 예측 및 방재가 적절하게 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구는 토석류 발생의 메커니즘에 대한 요소를 파악하여 각각에 필요한 계측 요소를 개발하고, 인

*Corresponding author: hanbywon@baytech.co.kr

력이 직접 투입되어 주기적으로 수동측정하는 비효율적인 방식에서 벗어나 실시간 감지가 가능한 소출력 근거리 무선통신 방식인 Radio Frequency(이하 RF)통신과 국내 실정상 원거리에서도 자료 송수신 및 기기제어가 우수한 원거리 무선통신 방식의 CDMA 통신을 결합한 자료 수집 장치를 사용하므로 지리적으로 취약한 장소에서도 측정을 가능하게 할 수 있는 시스템이다.

또한, 기존의 절취사면과의 산사태 붕괴 특성 관계를 파악이 가능하고, 실시간으로 토석류 산사태 모니터링 할 수 있는 산사태의 초기 예측 및 체계적인 방재 시스템을 연구 개발하였다.

연구방법 및 절차

본 연구의 목표는 토석류를 중심으로 발생하는 산사태의 흐름을 감지하기 위해 토석류감지 센서, 토석류 거동 센서, 함수비 센서 시스템을 개발하였다. 각 센서들은 토석류 산사태가 발생하는 지역이 광범위하기 때문에 설치의 편의성과 유연으로 시스템을 개발할 경우 발생할 수 있는 전기적 노이즈 및 케이블 파손의 위험성을 배제할 수 있는 무선네트워크 기반의 무선센서시스템으로 구성하였다. 원거리 무선 CDMA 통신을 통해 모니터링 서버로 데이터를 전송하도록 되어 있어 모니터링 서버에 저장된 계측데이터가 인터넷을 통해 언제 어디서나 계측정보를 확인할 수 있도록 하는 계측 시스템의 개발과 각 계측 센서를 토석류 산사태의 붕괴 메커니즘 특징을 연관하여 산사태 계측 항목 및 배치 기준을 연구하였다. 연구의 절차는 Table 1과 같다.

상기 개발한 시스템을 이용하여 방재시스템과 연동할

Table 1. Procedure regarding research methods.

연구의 목적성	유비쿼터스 기술을 이용한 산사태 및 토석류 모니터링 시스템 개발의 필요성 제시
기초연구(연구실 실험, 현장조사)	기존 절취사면관리의 문제점 토석류의 거동과 산사태의 관계분석의 필요성 파악
토석류 및 산사태 모니터링 센서 개발	토석류 : 계측항목, 시스템, 통신환경 산사태 : 계측항목, 시스템, 통신환경
산사태/토석류 모니터링 시스템 구성요소와 기능 설명	산사태 / 토석류 모니터링 시스템 구성요소와 기능 설명
방재 현장 적용	시스템 개발의 타당성 제시
현장 기대 효과	안전성 측면, 환경적 측면, 유지관리 측면
연구 결론	

수 있는 표준화된 통합계측관리 데이터베이스 체계 구축하고, 국내 · 외 산사면에 설치된 계측항목의 조사 · 분석을 통하여 산사태의 규모, 유형별 표준계측 항목 선정 및 시스템 선정을 하고 수문자료, 지반물성, 계측데이터와의 상관성 분석을 통한 산사태 안정성을 직접적으로 평가하여, 계측 운용을 통한 계측결과와 자연사면의 지반공학적 현황과 자료를 바탕으로 국내 산사면의 계측관리 방법을 제시하게 되었다.

국내 기술동향

국내에서는 절취사면 계측 시스템이 주종을 이루고 있으며 토석류 감시 시스템은 거의 없는 상태다. 국내 절취사면 계측분야는 지하수위계 및 경사계, 변형계 혹은 신축계에 의한 지반변위 계측이 대부분을 차지하고 있고, 사면계측의 경우 댐이나 대규모 인공절개사면에 설치하여 운영하는 경우가 대부분으로 수자원공사에서는 1996년 보령댐 여수로 좌안절개면 공사도중 대규모 균열이 발생하자 안정한 시공관리와 시공후의 유지관리를 위하여 97년에 사면 계측시스템(자동지중경사계, 신축계)을 설치하여 현재까지 가동 중이다. 또한 1999년 부산 도심지에서 발생하여 막대한 피해를 일으켰던 황령산 붕괴 현장에는 사면 재붕괴로 인한 피해를 방지하기 위하여 실시간 자동계측시스템이 설치되어 운용 중이다.

국외 기술동향

일본에선 1996년과 1997년에 토석류에 대한 재해가 발생하였고 토석류에 대한 예지와 피난을 위한 경보 시스템의 필요성이 증가되어 와어식 토석류 감지 시스템 및 광섬유 센서를 이용한 토석류 감시 시스템을 개발하

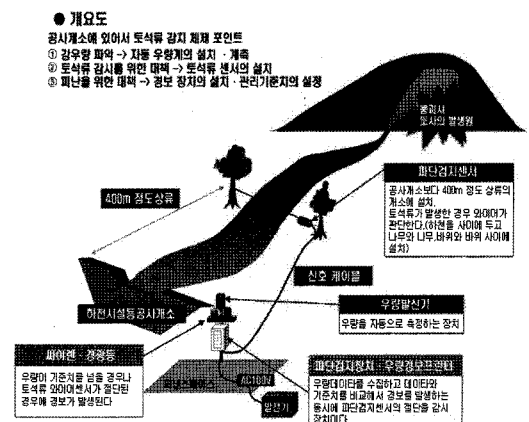


Fig. 1. Wire type debris flow detection sensor.

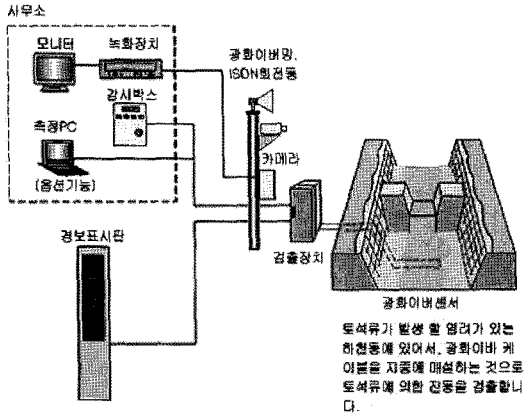


Fig. 2. Optic fiber sensor.

게 되었는데 와이어식 토석류 감지시스템은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 토석류 밀려 내려오는 순간 와이어의 이동 및 절단되는 것을 감지하여 알람이나 사이렌 등으로 위험정보를 제공하는 시스템이다.

광섬유 센서를 이용한 시스템은 광학섬유 센서에 의한 지반의 진동주파수와 진동강도를 측정하여 토석류의 발생을 검지하는 시스템으로 Fig. 2와 같다.

대만의 경우에는 태풍이 많이 상륙하는 지리적 여건으로 인해 토석류 산사태에 대한 감시 활동을 체계적으로 하고 있다. 집중호우가 발생할 경우 매 10분 단위로 강우량을 모니터링하고 기상위성을 이용한 구름 현황 감시로 긴급상황시 신속하게 정보를 전파하고 있다. 토석류 감지 사용되는 계측기로 와이어센서, 강우량계, 초음파 수위계를 이용하여 Fig. 3과 같이 이동식 모니터링



Fig. 3. Measurement items applied to debris flow monitoring.

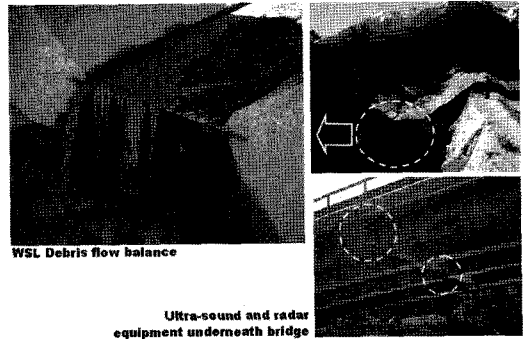


Fig. 4. Measurement system of loads and velocity of debris flow in Check-Dam.

시스템으로 구성되어져 있다.

스위스의 경우에는 유연성 원리를 이용한 토석류 방지 시스템과 함께 Geophone, CCTV, 링네트의 하중계 등을 이용하여 토석류 산사태를 감시하고 있다. Fig. 4와 같은 토석류의 속도, 밀도, 하중을 측정하는 시스템을 이용하여 토석류의 거동 메커니즘을 규명하기 위한 연구자료로 활용하고 있으며, 직접적인 토석류 발생을 육안으로 확인하기 위한 비디오카메라를 운영하여 측정하고 있다.

이 이외에도 미국은 사면 현장에 설치되는 지표변위와 인장균열의 거동 관측용으로 보통 자동신축계와 자동측량기를 설치하고 있고, 홍콩은 산사태 방지 대책 계획 (LPM)을 실시하고 있는데, 산사태 경보시스템은 자동우량계 시스템을 이용하여 개발운영하고 있는데, 강우량과 강우강도에 근거하여 실시간으로 발령되고 메스컴을 통해 시민과 정부에 알려지는 시스템을 이용하고 있으며, 해안도로 인접 석회암 절벽 많은 영국에서는 낙석 발생 위험을 저감하기 위하여 경사계와 지중경사계에 기반을 둔 예경보시스템으로 지반의 이동으로 인한 변형을 감시하고 있다.

이탈리아에서는 동북부 산악지역에 발생한 대규모 (120 m³) 산사태감시를 위한 계획이 수립되어 조사를 위한 25개의 시추공을 심도 25~80 m로 굴착하여 각 시추공에 경사계, 간극수압계, 인장계, 그리고, TDR기법을 활용한 동축 케이블을 설치, 측정하였다. TDR법을 활용한 산사태 감시는 지반변위 현상을 입증으로, 자동데이터 획득기법에 연계하는 방법이 연구중이고, 끝으로 중국은 산사태 예경보를 위하여 토괴의 거동감시를 위해 2개 경간에 인장계를 설치하였고, 시추공을 설치 지중경사계를 삽입하여, 각 지점의 지형변위를 강우량과 함께 관측하고 있다.

연구내용

산사태와 강우특성

우리나라 연평균 강우량은 지역에 따라 약 1,100~1,400mm 정도인데 이중 대부분이 우기에 집중되어 있으며, 특히 전 지구적 기상이변에 따른 수백 mm의 극지성 호우가 단시간에 내리는 현상이 잦아지고 있으며, 특히 우기에 반복적인 주기를 가지는 계절성 강우의 특성과 지속적으로 강우가 발생하는 양면적인 특성을 보이고 있다.

집중호우가 주요원인으로 작용하여 국내 토사 사면지반이 붕괴되고 산사태가 많이 발생하고 있으므로, 산사태의 발생요인 중 가장 큰 요인이 강우임을 예측할 수 있고, 산림청에서 발표한 산사태 예보강우량 기준치는 연속강우량이 200mm 이상, 시우량이 30mm 이상, 일강우량이 150mm 이상이면 산사태가 발생할 수 있다고 되어있다.

토석류 산사태의 붕괴 특성

토석류 산사태는 집중강우로 인해 능선부 부근의 산사면에서 전이형 활동으로 시작하여 사태물질이 계곡부로 흘러내리면서 주변의 토층을 침식 또는 붕괴시킨다. 산사태 자체의 규모는 크지 않지만 사태물질이 계곡부로 모여 하부로 흘러가면서 하부지역에 많은 피해 발생시킨다. 이런 토석류 산사태는 얇은 토양층의 붕괴로 발생되며, 소규모지만 이들이 토석류로 변하여 사태를 일으킬때는 큰 위험이 따르며, 산사태 규모에서 산사태 길이는 100m이하(78%), 21~40m(33%), 폭은 6~20m, 길이는 1.0m 이내로 조사 보고 되고 있다. 산사태 발생지점은 9부~7부능선에서 가장 많이 발생하고 있으며 화성암 및 변성암은 8~9부능선에서 퇴적암은 4~7부능선에서 발생하고 있는데 토석류는 주로 V형 계곡을 따라 발생되어 전이형 슬라이드(slide)와 복합적으로 발생된다. 즉 비교적 평탄한 산사면에서 전이형 평면파괴가 일어나고 파괴된 물질이 하부로 이동되면서 주위의 물질과 혼재되어 토석류의 형태로 변이되면서 계곡을 따

Table 2. Occurrence mechanism of debris flow.

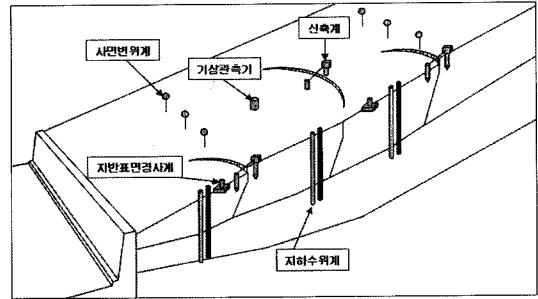
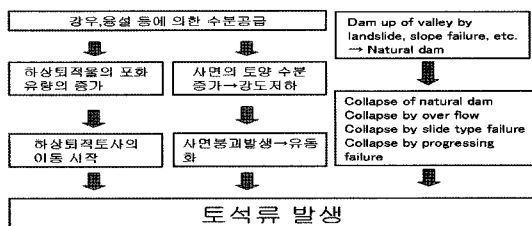


Fig. 5. Landslide monitoring system of cut slopes.

라 흘러내리는 붕괴특성을 가진다(Table 2).

기존의 절토사면 산사태 모니터링

대체적으로 국한된 소규모 절취사면으로 변위 및 토사층의 파괴양상인 원호파괴, 전도파괴, 평면파괴 등에 대한 감지 시스템을 위주로 하여 Fig. 5과 같이 토사층의 지중의 변위와 지하수위에 따른 계측으로 지중경사계와 지하수위계를 사용하고, 사면의 소단이나 절리면 및 지반 표면의 변위 측정을 위하여 지표면 경사계와 신축계, 그리고 사면의 3차원적 거동 변화를 파악하기 위해 사면 변위계의 시스템을 일반적으로 갖추고 있다.

본 연구대상의 토석류 산사태 모니터링

산 상부파괴, 토석류 거동에 대한 절취사면 및 토사층 파괴에 관한 이전 붕괴 발생지역과 전체적이고 체계적인 붕괴요인 분석을 위주로 한 시스템으로 Fig. 6의 구성도에서처럼 토석류의 거동을 알기위해 토석류 거동 감지 시스템, 토석류가 붕괴되는 것을 감지하기 위한 장치로 토

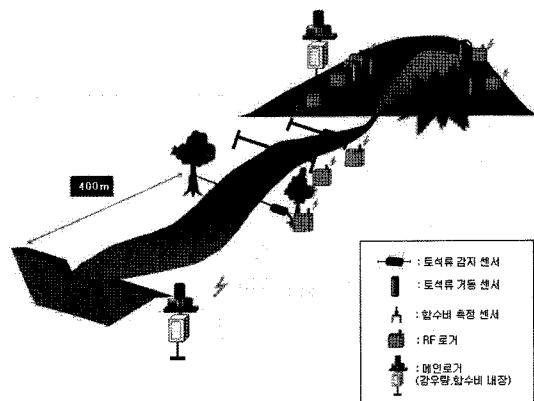


Fig. 6. Radio network based debris flow monitoring system.

석류 감지 센서를 이용하였고, 강우량과 강우에 따른 토석류의 연관관계를 파악하기 위하여 강우량계, 함수량 측정기를 설치하고 일련의 토석류의 거동에 따른 지반진동 상관관계를 파악하기 위해 지반진동 측정기를 배치한다.

모니터링 시스템의 비교

절취사면은 인공적으로 생긴 것으로 구조적 안정성을 예측 및 파악하기 위한 것으로 비교적 수동측정 및 유선 자동화 시스템에 의존하는 편이다. 하지만 토석류 모니터링 시스템은 즉각적인 예경보가 매우 중요하므로 초기 거동에 대한 상관관계의 지속적인 분석 및 토석류 발생시 즉각적인 감지가 필요하게 된다. 유선으로 계속될시 토석류나 주변여건에 의해 노이즈나 단선 등으로 측정 오류가 발생하므로 이에 영향을 받지 않은 무선 시스템에 상호 연결되는 네트워크가 필요하다. 근거리 네트워크 시스

템을 구성하므로 실시간 즉각적인 데이터 송수신이 가능하고 이들 데이터를 메인로거에서 제어하므로 전체적이고 체계적인 분석 및 예경보 시스템을 구축할 수 있다. Table 3은 두 모니터링 시스템을 비교한 것이다.

연구 개발 시스템

강수량 모니터링 프로그램 개발

토석류 산사태 발생에서 가장 직접적인 요인이 강우지만 현실적으로 전국적으로 강우량계를 설치하기에는 시간과 비용이 많이 소요된다. 이런 문제점을 해결하기 위해 기상청에서 제공하고 있는 전국 76개소의 강우량 데이터를 실시간 웹 스크래핑 기술(Fig. 7)을 이용하여 통합DB에 저장하는 프로그램을 개발하였다. 웹 스크래핑 기술은 스크린에 보이는 데이터 중 필요한 것만 추출하는 기술이다. 웹사

Table 3. Comparison between two monitoring system.

구 성	기존 절토사면 산사태 모니터링 시스템	토석류 산사태 모니터링 시스템
센서 구성배치	- 지중경사계: 활동변위 예상 토사층 - 지하수위계: 지하수위대 예상 토사층 - 신축계: 소단, 절리면 - 지반표면경사계: 활동변위 예상 지반 - 사면변위계: 구조적 취약부 및 대표단면	- 강우량계: 강우량 대표지점 - 토석류 거동계: 토사와 암반층 경계부 거동 감지 위치 - 토석류 감지계: 계곡부에 예상 토석류 단계 별 위치 (1차, 2차, 3차) - 함수비 측정계: 토석류 거동과 연계 위치 - 지반진동 측정계: 대표단면 - 웹캠: 토석류 감지 관측 지점
시스템 구성	- 수동 및 유선 측정 - 자동 유선 계속	- 근거리무선 네트워크 기반 자동 계속
데이터 로거	- 수동적 데이터 로거 시스템 : 모니터링 PC에 의한 수동적 계속 수행 : polling방식에 의한 단방향 통신	- 능동적 데이터 로거 시스템(강우량계 내장) - 데이터 로거에서 1차 예비 경보 발생 - TCP/IP 및 SMS방식의 양방향 통신
계측관리 프로그램 및 경보	- off-line 중심의 계측관리 프로그램 - 한정된 공간에서만 계속정보 열람	- 유비쿼터스 기반 계측관리 프로그램 - GIS 및 지반정보와 연계된 계측관리 - 계측관리기준치 따른 단계별 예경보 시스템
단점	- 케이블 배선에 따른 문제 : 설치, 단락, 유지보수, 노이즈, 낙뢰 등 - 통신장애 발생시 계속수행 불가 - GIS 및 지반정보 연계성 미흡 - 계측관리기준치 미설정 예경보 미흡	- 소출력 단거리 무선 네트워크로 기반이므로 원거리 계속센서 기기간 통신 어려움
장점	- 지중의 심도별 거동 확인 - 전체적인 변위 양상 파악 - 암반기반인 절리면에 정밀 계속	- 강우량과 함수비의 연관관계 분석 - 직접적인 산사태 단계별 감지 - 케이블배선에 대한 문제점 해결 - 강우강도에 따른 무선센서 제어(빈도) - 시간/공간 제약없는 계속정보 열람 - 모니터링 PC간의 통신두절시 독자적 계속 - 이상변위시 웹캠으로 실시간 현장 확인

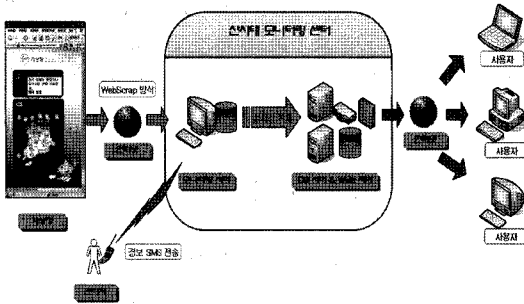


Fig. 7. Rainfall monitoring system composition using web-scipping.

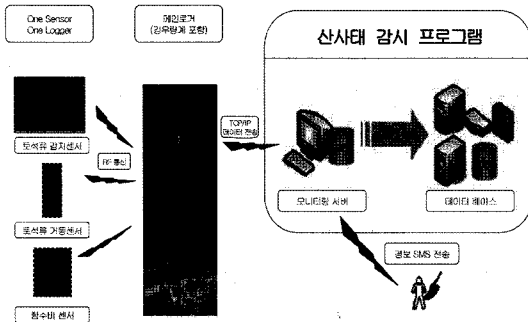


Fig. 8. Composition of landslide monitoring program.

이트에 있는 정보를 끄집어내어 다른 사이트나 데이터베이스에 저장하므로 필요에 따라 수시로 조회가 가능하며 저장된 데이터를 가공하여 비교분석 자료로 활용할 수 있다.

산사태 감시 프로그램 개발

산사태 감시 프로그램은 메인 로거에 저장된 데이터를 TCP/IP 통신방법으로 모니터링 PC에 저장하도록 하는 프로그램과 저장된 계측데이터를 인터넷을 통해 실시간으로 열람할 수 있는 프로그램으로 나누어 개발을 진행하였다(Fig. 8).

메인 로거 제어 프로그램은 메인 로거에서 전송되는 데이터를 모니터링 서버에 저장하는 기능과 메인 로거를 SMS를 이용하여 계측간격, 빈도를 설정할 수 있도록 하였다. 또한 메인 로거 및 RF 로거의 전원 및 온도 상태를 파악하여 시스템의 안정성을 확인할 수 있다(Fig. 9, 10).

사용자 프로그램은 통합관리서버에 저장된 계측정보를 실시간으로 열람하여 그래프 및 테이블로 출력이 가능하고 수치지도 및 이미지 데이터 위에 센서를 맵핑(mapping)하므로 직관적인 계측관리 상황을 볼 수 있으며, 그래프에서는 강우량 데이터를 연계하여 각 센서의

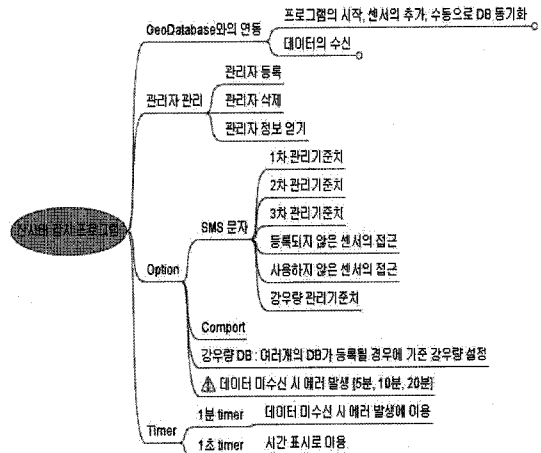


Fig. 9. Program order diagram.

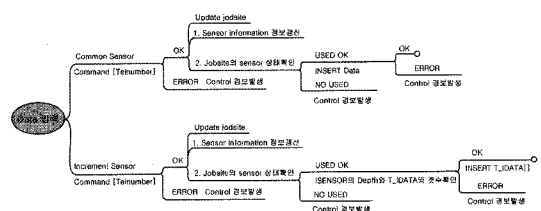


Fig. 10. Database storage order diagram.

경향을 파악할 수 있다.

연구 개발 센서

토석류 감지센서

토석류 감지 센서의 설치목적은 계곡부를 따라 흘러 내려오는 토석류를 감지하고 토석류의 속도를 파악하는 것이다. 이 시스템은 다른 계측 항목과 달리 토석류의 발생을 가장 신속하게 전달할 수 있어야 하고 복잡한 시스템보다는 단순한 시스템으로 구성되어 즉각적인 경보를 발생시킬 수 있도록 되어야 한다. 이런 요구사항을 충족시키기 위해서 토석류 감지 센서는 토석류의 흐름을 가장 간단하면서도 확실하게 감지할 수 있도록 하기 위해 와이어 절단 방식의 토석류 감지 시스템을 채택하여 개발하였다. 와이어 절단 방식은 토석류가 계곡부를 밀려 내려올 때 계곡부를 가로질러 와이어를 설치해 놓으면 토석류의 물리적인 힘에 의해 와이어가 끊어지게 되는 이때 끊어질 때 발생하는 전기적 신호를 받아서 토석류의 발생을 확인하게 된다. 와이어의 끊어질 때 발생하는 전기적 신호는 토석류 감지 로거에 받아서 소출

Table 4. Specifications of a debris flow detection sensor.

항목	내용
검출방식	접점 출력 방식
허용온도범위	-30~50°C
센서와이어 길이	최대 30 m
와이어 당김	최대 60 kg
브레이크 동작하중	100 kg
절연저항	500 MW @ DC25 V

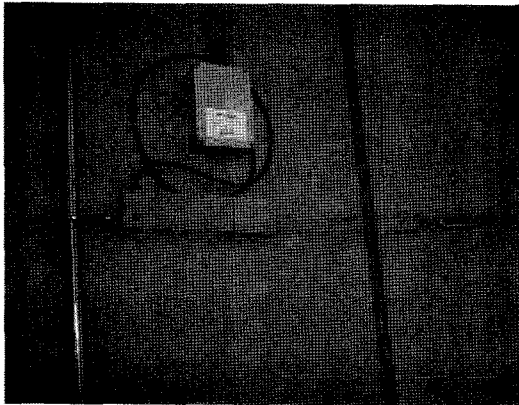


Fig. 11. Composition of a debris flow detection sensor.

력 근거리 무선통신을 통해 메인 로거에 전송하고 토석류 발생의 긴급성이나 위험성을 고려하여 보다 빠르게 인근에 있는 주민들이나 관리기관에 토석류 발생을 감지할 수 있도록 하기 위해 원거리 무선통신인 CDMA 모뎀을 통해 SMS 메시지를 전송하도록 개발하였다.

토석류 거동 센서

토석류 발생 메커니즘을 살펴보면 능선부 부근 또는 계곡부 좌우안의 자연사면에 퇴적된 토층이 집중호우에 의해 많은 수분을 공급받게 되면서 산사면에서 전이형 활동으로 시작하여 사태물질이 계곡부로 흘러내리면서 주변의 토층을 침식시키고 토사사면을 붕괴 시키게 된다. 국내 자연사면에서의 붕괴는 대부분 암반층 상부에 퇴적된 토층이 강우로 인한 수분공급을 받게 되면 토사층의 자중이 증가하면서 암반층과 토사층의 경계부에 많은 붕괴가 발생된다. 이와 같은 붕괴 패턴을 고려하여 토사층과 암반층의 층경계부에서 움직임을 감지할 수 있는 계측센서를 개발하게 되면 토석류가 발생하기 전에 미리 토석류의 발생가능성을 예측할 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 토석류 거동 센서는 토사층과 암반층의 거동을 관측하기 위해 기울기 센서를 내장한 센서를 토사층과 암반층에 설치하여

Table 5. Specifications of a slope displacement measurement sensor.

항목	내용
측정범위	± 3°(2축)
분해능	0.0006°
비직선성	± 0.5%
히스테리시스	+ 0.00045°
허용온도범위	-30~70°C
절연저항	100 MΩ @ DC25 V

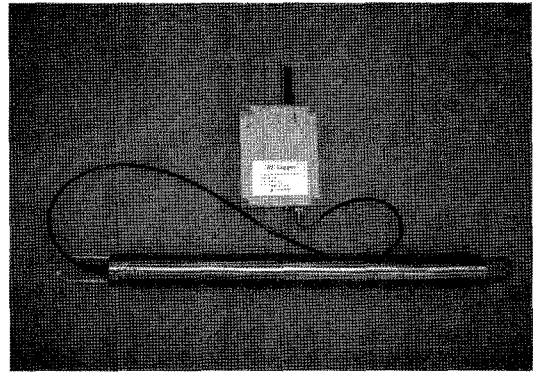


Fig. 12. Composition of a slope displacement measurement sensor.

거동을 관측한다. 토석류 거동 센서는 토석류 발생할 가능성이 있는 계곡부 좌우안 사면중 붕괴 가능성이 있는 지점을 선택하여 설치하고 소출력 무선통신으로 계측데이터를 메인로거에 전송할 수 있도록 개발하였다.

함수비 측정 센서

토석류 발생의 직접적인 원인은 집중호우에 의한 것이지만 퇴적된 토층은 지질학적 특성, 지반공학적 특성, 식생등과도 밀접한 관계를 가지고 있다. 이와 같이 강우에 따른 영향이 다양한 지질 및 지반 특성에 따라 다르게 침투되기 때문에 동일 강우강도가 발생하더라도 붕괴가 발생하는 지역과 붕괴가 발생하지 않는 지역으로 나타난다. 지역적으로 토석류 발생 시기를 예측하기 위해서는 강우시 지반에 침투되는 경향을 파악하는 것이 산사태 예측에서 중요한 요소가 될 수 있을 것이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 식생과 지질특성을 고려하여 심도별로 함수량계를 설치하여 강우강도와 심도별 침투특성을 파악한다. 함수비 센서도 다양에 위치에 설치하여 소출력 무선통신을 통해 메인로거에 계측데이터를 전송할 수 있도록 개발하였다.

Table 6. Specifications of a water content measurement sensor.

항목	내용
측정범위	0~100%
정밀도	3%
허용온도범위	0~70°C
절연저항	100 MΩ @ DC25 V

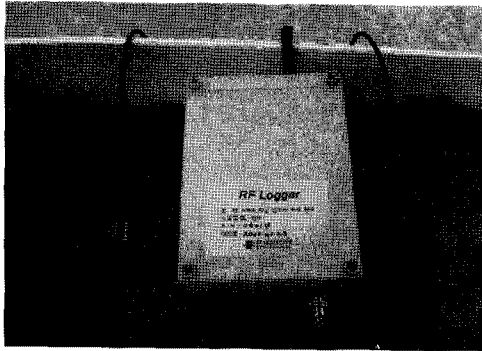


Fig. 13. Composition of a water content measurement sensor.

RF(radio frequency) 로거

토석류 산사태 모니터링 지역은 계곡부를 중심으로 넓은 지역에 위치해 있기 때문에 1대의 데이터로거에 유선으로 연결하는 것은 설치시 케이블 배선의 문제와 유지관리 측면에서 케이블의 절단이나 로거의 이상이 발생할 경우 전체시스템에 영향을 주게 되어 시스템의 안정적인 측면을 저해할 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 각 센서에 소형의 RF로거를 직접 연결하여 근거리 무선통신을 네트워크로 구성하여 계측데이터를 메인 로거에 전송할 수 있도록 개발하였다.

메인로거 시스템

메인로거는 강우량계를 내장하여 RF로거에서 전송되는 계측데이터를 저장하여 전송하는 근거리 무선네트워크를 구성한다. 저장된 데이터를 CDMA를 이용한 TCP/IP 통신을 통해 모니터링 PC에 전송한다.

계측항목 및 목적

현지조사 결과 시범계측위치 선정 지역인 강원도 인제지역은 2006년 집중호우에 의해 발생한 수해의 대부분이 계곡부 토석류에 의한 산사태 피해가 대부분 이었다. 또한, 2007년 발생한 집중호우로 인해 추가적인 산

Table 7. Specifications of a RF logger.

항목	내용
CPU	Atmega16
통신방식	소출력 무선통신
통신거리	200 m
주파수	447 MHz, FSK방식
센서구동전압	+ 5 V

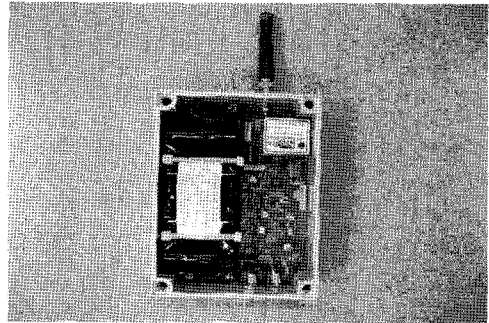


Fig. 14. Composition of a RF logger.

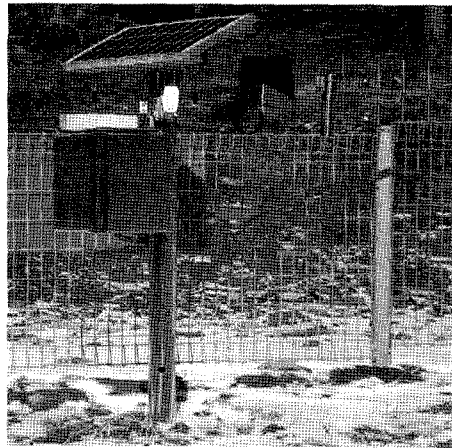


Fig. 15. Composition of a main logger.

사태 피해가 일어난 지역이다. 현재 대규모의 토석류가 발생된 곳을 중심으로 사방댐 신설 및 추가 복구 중에 있으며, 일부 사방댐의 경우 2007년 강우로 인해 발생한 소규모의 토석류에 의해 일부 사방댐의 상부까지 토석이 쌓여 있어 준설작업이 필요한 지역이다.

(가) 메인로거: 각 센서별 계측데이터를 수집 및 전송한다.

(나) 토석류 감지 센서: 계곡부 토석류의 흐름을 감지한다.

(다) 토석류 거동 센서: 토사층과 암반층의 경계부 거동을 관측한다.

(라) 함수비 측정 센서: 강우강도와 토사층의 함수비 상관관계를 통해 토석류 발생 시기 예측을 위한 자료로 활용한다.

(마) 강우량계: 강우량을 측정하여 산사태 발생 가능성 예측 및 비 감지를 통한 로거 측정 빈도를 조정한다.

(바) Geophone: 토석류 발생 시 지반진동을 측정하여 토석류 산사태 발생 상태를 확인한다.

(사) Web Camera: 현장 상황을 상시 모니터링 한다.

현장계측 시스템의 통신방식은 강우량계가 내장된 메인로거를 중심으로 각 센서마다 RF로거를 설치하여 소 출력 근거리 무선통신 방식인 FSK(frequency shift keying) 통신방식을 적용하였으며, 메인로거에 수집된 데이터들은 원거리 무선통신방식인 CDMA 모델을 이용한 TCP/IP 통신을 적용하여 원격지 서버 PC에 데이터 전송을 하도록 구축하였다(Fig. 16, 17). 토석류감지센서의 경우 긴급성이나 위험성을 고려하여 CDMA 모델을 이용한 TCP/IP 통신방식을 추가하여 통신방식을 이중화

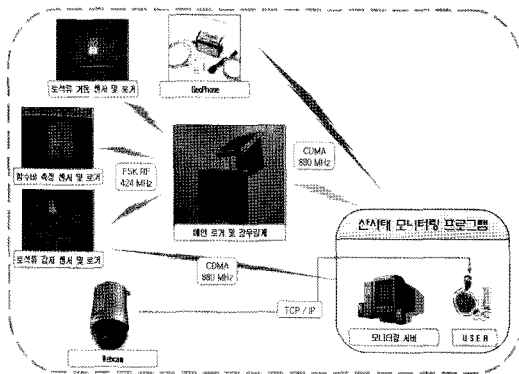


Fig. 16. Basic concept of the wireless network based monitoring system.



Fig. 17. A schematic view showing installation positions of the sensors.

하였다. 웹카메라는 랜케이בל 포설후 인터넷(TCP/IP)을 통한 현장 상황 모니터링 및 카메라제어가 가능하도록 구축하였다.

측정결과

본 현장시범계측 시스템은 2008년 1월 10일 구축 완료 후 현재까지 모니터링 및 자동화 계측 진행 중에 있으며 계측결과는 다음과 같다.

강우량계

메인로거와 함께 구축되어 계측 진행 중인 강우량계는 현재까지 일차별 강설 및 강우에 따른 그래프 변화 추이를 보이고 있다(Fig. 18).

지속적인 계측을 통해 측정된 데이터를 바탕으로 산사태 발생 가능성 예측 및 강우강도 감지를 통한 메인로거 측정 빈도 조정에 활용할 계획이다.

토석류 감지 센서

초기 설치 이후 현재까지 토석류 감지 없이 안정적인 센서 상태를 보이고 있다. 토석류 감지 센서는 측정값이 "0"일 경우 안정을 의미하며, "1"을 출력할 경우 감지선의 단선을 의미한다. 이는 토석류 발생 감지를 의미하는 것이며 토석류 감지에 의해 단선이 되었을 경우 즉시, 경광등 작동 및 SMS 문자 전송을 해주는 시스템이다.

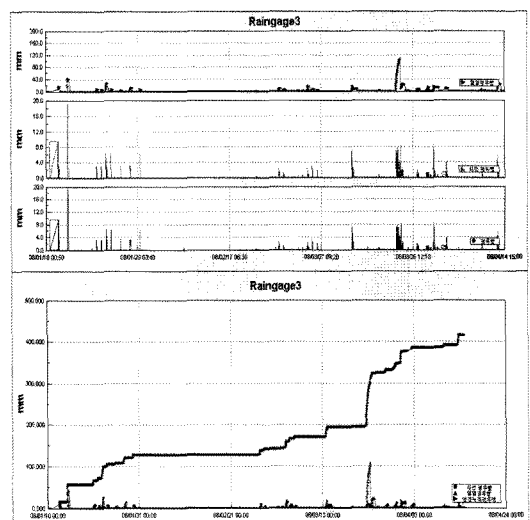


Fig. 18. Measurement results of rainfall using the rain gauge.

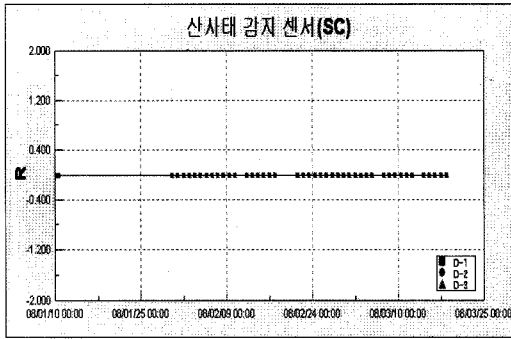


Fig. 19. Measurement results using the debris flow detection sensor.

센서 특성상 직접적인 토석류의 산사태 발생에 기인하여 나타나므로 현재까지 측정결과는 “0”인 안정된 상태로 계측된다. 그래프는 Fig. 19와 같다.

토석류 거동 센서

토사층과 암반층의 경계부 거동을 관측하기 위해 계곡부 좌우안 사면에 설치되어 계측 진행 중인 토석류 거동 센서는 초기 설치 후 해빙기를 맞아 지표 이완의 영향으로 판단되는 미세한 거동변화 추이를 나타내고 있다. 거동 양상 수렴시 초기치를 재설정 한 후 합수비 및 강우량 측정 데이터와 연계분석하여 산사태 발생 가능성 예측에 활용할 계획이다. 계측결과 그래프는 아래 Fig. 20과 같다.

합수비 측정 센서

합수비 센서는 각 개소 GL-0.5 m 지점에 설치되어 계측관리 중에 있으며 C-2와 C-3의 경우 동일지점에 각각 GL-0.5 m, GL-0.8 m 지점에 설치되어 있다. 합수비 센서 측정결과 설치 개소마다 각기 다른 체적함수율을

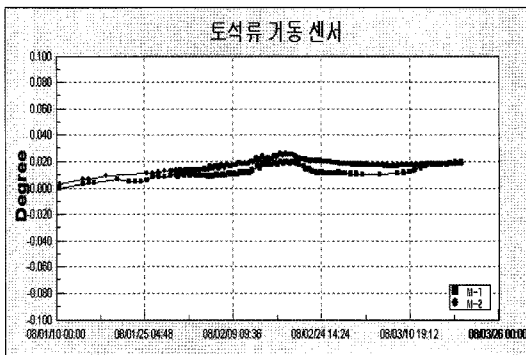


Fig. 20. Measurement results of slope displacement of the site.

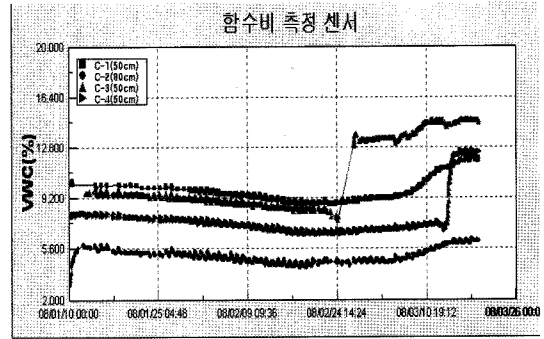


Fig. 21. Measurement results of the water contents of the site.

보이고 있는데 이는 지질 상태 및 표층 식생 유무에 따른 계측결과로 판단된다. 각 개소마다 초기 설치 후 미소한 변화추이를 보이다가 현재 해빙기를 맞아 지표 용해에 의한 체적함수율을 증가 경향을 보이고 있으며, 아래 Fig. 21의 그래프를 보면 C-4는 다른 센서들에 비해 급격한 증가상태를 보이고 있다. 이는 식생분포 인근 지점에 설치된 센서로 용해된 지표수분이 타 지점보다 증발량이 적고 급격히 흡수되어 나타난 결과로 판단된다. C-3은 센서 망실로 2008년 2월 27일 재설치를 하였으며 재설치 과정에서 지표굴착시 흡수된 눈에 의한 결과로 판단된다. 특히 3월 강우량이 많은 관계로 합수비량이 증가하는 경향을 볼 수 있다(Fig. 21).

지반진동 측정 센서

토석류의 발생이 미치는 지반진동의 영향을 상호연계하여 그 상관관계를 찾기 위한 요소로 직간접적인 값을 찾기 위해 계측관리 중이다. 초기 설치 후 Fig. 22처럼 지반진동이 없는 안정된 상태를 보이고 있다.

웹카메라

웹카메라는 초기 설치 후 지속적인 현장 상황 상시 모니터링 중에 있다(Fig. 23).

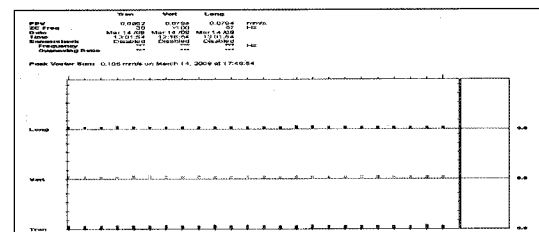


Fig. 22. Measurement data of the geophone.



Fig. 23. A captured image of the site from the real-time movie recorded by the web camera.

강우량과 함수비 관계

강우량과 함수비 관계는 Fig. 24에 나와 있는 그래프를 통해 보면, 1월 2월 중에는 강우량과 관계에서 크게 영향을 보이지 않는데 이는 동절기 강설에 의한 영향으로 사료되며 3월에 기습적인 강우에 의해 그 증가가 강우 당일 함수비의 증가로 나타나고 있지 않고 2-3일 뒤 함수비의 증가로 나타나고 있다. 이는 지속적이고 강도가 높은 강우가 아닌 일반적인 강우량은 직접적인 함수비량을 증가시키지 않고 일정 시간이 지난 후 토양에 영향을 미치는 관계를 간접적으로 현재 관측내용상 유추하여 볼 수 있다.

강우량과 토석류 거동과의 관계

Fig. 25에서 보는바와 같이 토석류와 강우량은 큰 상관관계가 보이지 않는데 이는 연관성이 없음이 아니라 강우의 강도가 현재 토석류 거동을 일으킬 수 있을 만큼의 우량이 아님을 보여주고 있다. 토석류 거동은 현재 해빙기의 안정화 과정을 걸쳐 미미한 변화를 보일뿐 직접적인 토석류 거동의 영향을 나타내내지 않는다.

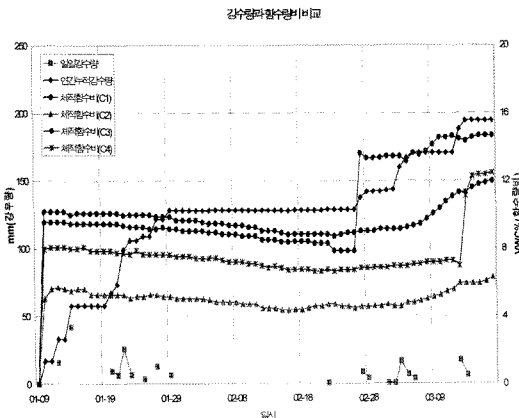


Fig. 24. Comparison between rainfall and water contents.

토석류 거동과 함수비의 관계

토석류 거동은 거의 미비하여 함수비의 관계와 큰 연관성을 보이지 않는다. 이는 강우량과 토석류 거동과의 관계와 마찬가지로 강우강도에 의한 함수비량이 토석류의 거동에 영향을 줄 정도가 되지 않는 안정된 상태를 Fig. 26의 그래프에서 잘 보여주고 있다.

결론

산사태 모니터링에 적용된 소출력 근거리 네트워크 기반 시스템 개발 대한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 기존의 절취사면의 구조안정에 대한 모니터링 방식에서 벗어나 토석류 거동 메커니즘에 따른 계측 방법을 제시하므로 보다 토석류 산사태에 직접적인 예경보를

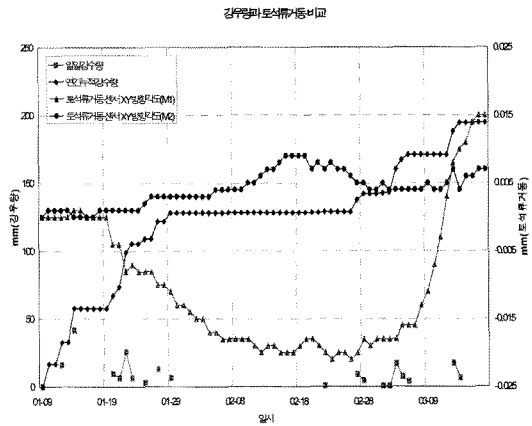


Fig. 25. Comparison between rainfall and a slope displacement.

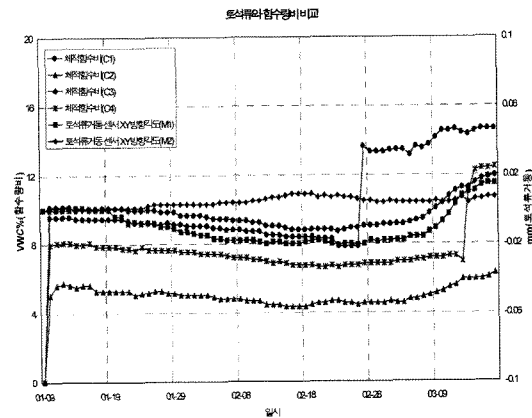


Fig. 26. Comparison between a slope displacement and water contents.

방법에 접근하게 되었다.

(2) 토석류 산사태의 지형적 특성 및 강우에 의한 갑작스런 영향에 적절하게 대응할 수 있는 시스템을 소출력의 무선 네트워크 시스템을 구성하므로 상호 원격제어 및 자료분석을 위한 실시간 데이터를 제공하여 토석류 발생에 따르는 인자를 보다 정확하고 정밀하게 모니터링 할 수 있었다.

(3) 토석류 감지 센서를 사용하므로 수치적 영향에 기인하는 타 센서와 달리 토석류를 직접 감지하는 방법을 이용하므로 현재 토석류가 발생되었음을 원격으로 바로 나타낼 수 있었고, 지반진동 센서는 앞으로 토석류의 발생이 지반진동에는 어떤 상관관계를 갖고 있으며 토석류 산사태의 발생 요소의 근거 기준에 대한 활용의 가능성에 대하여 연구 중이다.

(4) 현재 측정된 계측결과에 대한 비교 연구로 강우량과 함수비의 관계, 강우량과 토석류 거동의 관계, 함수비와 토석류 거동의 관계는 현재 각각의 요소들이 토석류 거동에 큰 영향을 미치지 못하는 안정된 수준의 일상적인 형태를 띠고 있다. 차후 계속되는 측정데이터의 결과에 따라 토석류 산사태 발생의 관리기준을 토석류 거동에 직접적인 영향을 받는 센서를 이용하여 보다 체계화된 과학적인 근거로 정립하게 될 수 있으며, 직접적인 요소에 지반진동과의 영향을 분석해 간접적인 영향 기준으로 제시할 수 있는 지표를 마련하게 되었다.

사 사

본 연구는 소방방재청 자연재해 저감기술개발사업(산사태재해 예측 및 저감기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으면 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김만일, Makoto Nishigaki, 2006, 흙 사면의 체적 함수비 계측을 통한 사면파괴 예측기법 개발, *The Journal of Engineering Geology*, 16(2), 135-143.
 藤迪孝, 上弘, 1966, 斜面崩壊時期の予知地すべり, 2(2), 7-15.
 藤迪孝, 1968, 第3次クリップによる斜面崩壊時期の予測, 地すべり, 4(3), 1-8.

藤迪孝, 1987, 斜面崩壊時刻予測, のためのクリップ曲線の適用について—崩壊予測の批判に答えて—, 地すべり, 24(1), 30-38

Geomonitor Center <http://www.geomonitor.co.kr>

Shamen-net 연구회, JAPAN. <http://www.shamen-net.org>
 Sakata Denki, Japan, <http://www.sakata-denki.co.jp>

2008년 10월 16일 원고접수, 2008년 12월 11일 게재승인

김용균

동아대학교 에너지 자원공학과

(주)바이텍코리아 계측사업부

462-120, 경기도 성남시 중원구 상대원동 513-22번

지 중일아인스프라츠 8층

Tel: 031-778-1835

Fax: 031-778-1879

E-mail: sd4444@baytech.co.kr

안대영

(주)바이텍코리아 계측사업부

462-120, 경기도 성남시 중원구 상대원동 513-22번

지 중일아인스프라츠 8층

Tel: 031-778-1840

Fax: 031-778-1879

E-mail: dya1169@baytech.co.kr

강대우

동아대학교 에너지 자원공학과

604-714, 부산시 사하구 하단2동 840번지

Tel: 051-200-7767

Fax: 051-200-7771

E-mail: dwkang@dau.ac.kr

한병원

(주)바이텍코리아 계측사업부

618-410, 부산시 강서구 성북동 1488 4층

Tel: 051-972-6974

Fax: 051-972-6973

E-mail: hanbywon@baytech.co.kr