

# 사면방재를 위한 무선센서 네트워크 기술연구

## Landslide Detection using Wireless Sensor Networks

김형우\* · 이범교\*\*

Kim Hyung Woo · Lee Bum Gyo

### Abstract

Recently, landslides have frequently occurred on natural slopes during periods of intense rainfall. With a rapidly increasing population on or near steep terrain in Korea, landslides have become one of the most significant natural hazards. Thus, it is necessary to protect people from landslides and to minimize the damage of houses, roads and other facilities. To accomplish this goal, many landslide prediction methods have been developed in the world. In this study, a simple landslide prediction system that enables people to escape the endangered area is introduced. The system is focused to debris flows which happen frequently during periods of intense rainfall. The system is based on the wireless sensor network (WSN) that is composed of sensor nodes, gateway, and server system. Sensor nodes comprising a sensing part and a communication part are developed to detect ground movement. Sensing part is designed to measure inclination angle and acceleration accurately, and communication part is deployed with Bluetooth (IEEE 802.15.1) module to transmit the data to the gateway. To verify the feasibility of this landslide prediction system, a series of experimental studies was performed at a small-scale earth slope equipped with an artificial rainfall dropping device. It is found that sensing nodes installed at slope can detect the ground motion when the slope starts to move. It is expected that the landslide prediction system by wireless sensor network can provide early warnings when landslides such as debris flow occurs.

**key words** : landslide, debris flow, disaster, wireless sensor network, monitoring system, U-City

### 1. 서 론

기상이변에 따른 집중호우로 인하여 산사태의 발생빈도가 점차 증가추세에 있으며 그 피해규모도 대형화하고 있다. 장마기간 동안의 집중호우로 인하여 급경사 지역에서는 매년 산사태가 발생하고 있으며 이로 인하여 인명피해, 건물파손, 도로유실과 같은 심각한 사회적 경제적인 손실이 초래하고 있는 실정이다. 사면붕괴의 방지를 위해서는 위험사면에 대한 철저한 보강이 이루어져야 하며 사면붕괴 시 피해를 최소화하기 위해서는 사면의 움직임을 항상 감시하여 이상 징후 발생 시 부근의 시민 또는 도로관리 책임자에게 즉각적으로 경보를 발령하는 시스템을 구축하여야 한다. 본 논문에서는 사면을 실시간으로 감시하고 붕괴를 사전에 예측할 수 있는 모니터링 시스템을 근거리 무선통신 기술을 기반으로 개발하였다. 개발한 센서노드는 산사태의 일종인 토석류(debris flow)의 조기감지에 초점을 맞추었는데, 그 이유는 집중호우 시 물과 흙이 함께 뒤섞여 매우 빠른 속도로 쏟아져 내리는 이 토석류가 국내에서 발생하는 사면재해 중 약 90% 이상을 차지하고 있기 때문이다(박덕근 외, 2006). 센서노드의 현장적용성을 파악하기 위하여 소규모 인공사면을 조성한 후 인공강우에 의한 모의 산사태 실험을 수행하였으며 실험 결과 지반의 미세한 움직임을 센서에 의해 감지할 수 있었다. 그리고 이 연구결과를 바탕으로 실제 사면에 사면의 움직임을 감지할 수 있는 시스템을 시범적으로 설치하였다. 본 연구에서 개발한 산사태 감지용 무선센서 네트워크는 통신과 전력시설이 미치지 않는 산간지

\* 정회원 KT미래기술연구소 연구전문그룹 수석연구원

\*\* 정회원 KT인프라연구소 FTTH & u-City 개발담당 책임연구원

역에서 유선을 대체할 수 있는 대안으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 산사태 감지를 위한 무선센서 네트워크 특징

사면의 움직임을 모니터링 할 수 있는 전통적인 센서에는 보어홀 익스텐소미터(borehole extensometer), 경사센서, 변위센서, 함수비 측정센서가 있다. 하지만, 이와 같은 센서를 설치하려면 사면에 지하 20~30m 깊이로 보어홀을 천공해야 하며 숙련된 기술자가 필요하므로 설치비용이 많이 든다. 이러한 경제적인 이유로 인하여 사면에 센서를 조밀하게 설치할 수 없고 적은 수의 센서만으로 넓은 면적의 사면을 모니터링 해야 하는 문제가 있다. 또한, 센서 및 데이터로거를 유선에 의해 산악지역에 설치하며 이들을 유지보수 하는 것이 쉽지 않은 단점이 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 선진국에서는 무선센서 네트워크에 의한 사면 모니터링 시스템을 연구 개발하고 있다. 크게 센서부, 게이트웨이 (베이스스테이션), 그리고 서버시스템으로 구성되어 있는 이 시스템은 전원과 통신 인프라가 잘 갖추어져 있지 않은 사면이라 할지라도 무선센서 네트워크를 구축하면 넓은 지역의 사면 거동을 저렴한 비용으로 감시할 수 있고 유지관리가 용이하다는 장점이 있다. 하지만 사면에 적용할 때 몇 가지 요구조건을 만족해야 하는데, 예를 들면 암반사면의 경우 파괴 시의 거동이 매우 빠르게 진행되므로 온도, 습도, 조도 등 일반적인 센싱 항목에서와 달리 샘플링 주파수를 빠르게 설정할 필요가 있다. 또한 데이터 전송 시 자료가 누락되지 않아야 하며 서로 다른 센서로부터 획득된 값의 시간 지연이 없어야 한다. 하지만, 배터리를 사용하는 무선센서 네트워크의 경우 전원이 빨리 고갈되어 원하는 기간 동안 모니터링을 수행할 수 없는 문제점이 지적되고 있다.

## 3. 사면감지 무선센서 네트워크 개발 및 인공사면 실험

### 3.1 센싱노드

집중호우에 의해 토석류와 같은 산사태가 대규모로 발생하기 시작하면 사면 내에 유로가 형성되기 시작하며 이 유로를 따라 흙덩어리나 돌덩어리 등이 무너져 내리는 등 붕괴조짐현상이 나타나게 된다. 이러한 붕괴조짐현상을 감지하기 위하여 경사와 가속도를 측정할 수 있는 무선기반의 센서노드를 개발하였다. 센서노드에는 블루투스 통신모듈이 탑재되어 있으며 산사태의 조기감지를 위하여 가속도 측정용 센서인 ADXL 202 MEMS (micro-electromechanical systems) 센서를 사용하였다. 이 센서는 x축과 y축 방향의 가속도를  $\pm 2g$  (여기서, g는 중력가속도)의 범위까지 2mg의 정밀도로 측정할 수 있는 초소형(가로 5mm, 세로 5mm, 높이 2mm) 센서이다. 이 센서를 사용하여 지반의 움직임, 즉 경사와 가속도를 측정할 수 있도록 프로그래밍 하였다. 측정된 값은 A/D컨버터에 의해 디지털 값으로 변환되며 전원은 9V 배터리를 사용하였다. 그림 1에 센서노드 보드 및 시제품 사진을 제시하였다.

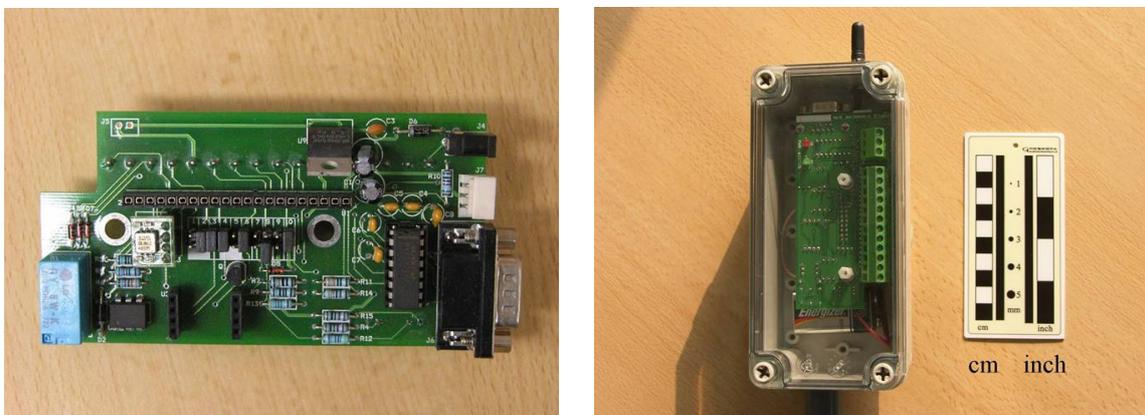


그림 1. 센서노드 보드 및 시제품

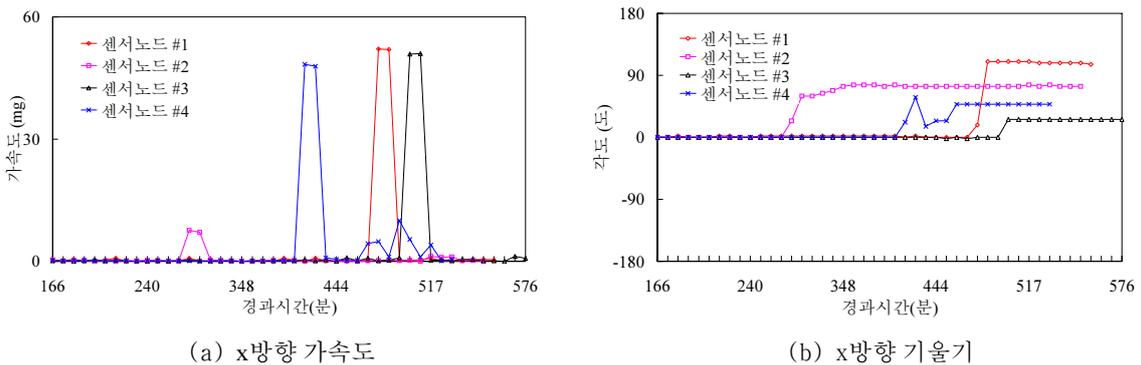
### 3.2 인공사면 실험

개발된 사면감지 무선센서 네트워크의 현장적용성을 확인하기 위하여 실험을 수행하였다. 그림 2(a)에 제시한 바와 같이 밀면 1.2m, 높이 0.8m 인 인공사면을 모래질 흙으로 조성하였으며 그림 2(b)와 같이 5개의 무선센서노드를 배치하였다. 강우에 의한 사면붕괴를 재현하기 위하여 인공강우(강우강도는 시간당 30mm 이상으로 유지)를 분무하였으며 센서노드가 사면의 움직임에 의해 완전히 쓰러질 때까지 지속하였다.



(a) 인공사면 (b) 센서노드 설치 전경  
**그림 2. 인공사면 실험: (a) 인공사면; (b) 센서노드 설치 전경**

인공강우를 분무한 후 일정시간 경과하였을 때 사면에 유로가 형성되기 시작하였고 이 유로를 따라 세굴 현상이 발생하였으며 인공강우가 지속됨에 따라 서서히 사면 표면의 흙이 유실되면서 센서노드가 기울기 시작하였다. 그림 3은 x방향의 시간에 따른 센서노드의 가속도 및 기울기 값을 나타낸 것이다. 본래 사면에는 5개의 센서노드를 설치하였으나 인공강우 실험 중 한 개의 센서노드에 이상이 발생하여 4개의 센서노드 값을 가지고 자료해석을 실시하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 인공강우에 따른 사면붕괴로 말미암아 사각형 표시의 2번 센서노드가 가장 먼저 움직이며 이후 나머지 센서노드가 순차적으로 움직이면서 쓰러지는 것을 알 수 있다.



(a) x방향 가속도 (b) x방향 기울기  
**그림 3. 센서노드의 가속도 및 기울기 그래프: (a) x방향 가속도 (b) x방향 기울기**

그림 3a 및 3b를 비교해 보면 각각의 센서노드가 쓰러질 때 가속도와 기울기 변화시점이 동일함을 알 수 있으며 따라서 가속도와 기울기의 변화를 측정함으로써 지반의 움직임을 예측할 수 있는 것으로 파악되었다. 또한, 가속도의 크기를 살펴봄으로써 지반의 움직임 세기를, 그리고 기울기 데이터로부터 지반의 경사변화를 추정할 수 있을 것으로 예상된다. 특히, 본 연구에서 개발한 무선센서 노드는 우리나라에서 자주 발생하는 토석류의 조기감지에 적합할 것으로 생각된다. 그 이유는 토석류의 특성 상 흙이 집중호우에 의한 빗물과 함

게 셋겨 내려가면서 사면에 설치한 센서노드를 건드리거나 쓰러뜨릴 것으로 예상되기 때문이다. 따라서, 센서노드의 가속도 및 기울기에 대한 임계값을 사면특성에 알맞게 설정해 놓으면 토석류의 조기경보(early warning)가 가능할 것으로 판단된다(김형우, 2006; 김형우, 2007).

#### 4. 사면감지를 위한 무선센서 네트워크 현장 시범설치

무선센서 네트워크를 사용하여 산사태 감지의 가능성을 실내실험을 통해 확인할 수 있었으며 이를 실제 현장에 적용하기 위하여 센서노드를 개선하였다. 실내실험에서 사용한 무선센서노드는 블루투스를 기반으로 한 것으로서 센서노드의 최대 구성개수, 전송거리 및 소비전력 등과 같은 제약이 있다. 따라서, 실제 현장에 시범 적용할 센서노드는 이와 같은 한계점을 최대한 극복하고자 노력하였으며 데이터의 결과 값을 신뢰할 수 있으며 많은 현장 적용을 통하여 검증 받은 기성 제품인 마이크로스트레인([www.microstrain.com](http://www.microstrain.com)) 제품을 사용하였으며(그림 4a 참조), 실제 경사면에 적용하여 실시간으로 모니터링을 수행하고 있다(그림 4b 참조).



(a) 센서노드 및 게이트웨이



(b) 현장 설치 전경

그림 4. 센서노드, 게이트웨이 및 현장설치 전경

#### 5. 결 론

지금까지 정보통신기술을 이용한 산사태 모니터링 시스템에 대하여 살펴보았으며 정보통신기술의 비약적인 발전에 따라 앞으로 보다 정확하고 경제적이며 구축이 용이한 사면 모니터링 시스템이 등장할 것으로 기대된다. 특히 무선센서 네트워크에 의한 사면모니터링 시스템은 사면에서 발생하는 미세한 지반운동을 감지하여 사면의 전반적인 안정성 여부를 판단할 수 있는 대안이 될 수 있으며 앞으로 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 이러한 사면붕괴방지 모니터링이 붕괴우려가 있는 사면, 축대 및 옹벽 등에 널리 적용된다면 매년 반복되는 사면붕괴에 의한 피해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. 박덕근, 오정립, 김태훈, 박정훈, “우리나라 사면재해 피해현황과 대책,” 지반, Vol. 22, No. 6, pp.6-18, 2006.
2. 김형우, “센서네트워크를 이용한 산사태 감지기술,” 2006년 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, 2006.
3. 김형우, “사면붕괴 예측을 위한 관리기준치 설정 시 고려사항,” 2007년 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, 2007.