

USN 기반의 사면붕괴 모니터링 시나리오 개발

Development of a USN-Based Monitoring Scenario for Slope Failures

김균태*

Kim, Kyoon-Tai

요 약

우리나라는 국토의 70%가 산지이고, 매년 7월~9월에 태풍과 집중호우가 있어, 사면붕괴가 매우 큰 피해를 끼치고 있다. 사면붕괴로 인한 재해를 예방하기 위하여 우리나라의 정부, 학계, 연구계, 산업계는 유선기반의 사면 모니터링 시스템을 개발하고 설치하는 등 피해 저감을 위한 다양한 노력을 경주하고 있다. 그러나 기존의 유선기반 모니터링 시스템은, 사면거동을 과학적으로 분석하기 시작하였다는 점에서 의의가 있으나, 낙뢰 등으로 인한 시스템 오류 가능성, 시스템 복구 및 관리의 어려움 등 유선시스템으로서의 한계가 노출되고 있다.

이러한 문제점을 해결하고자, 본 연구에서는 USN 기반의 사면붕괴 모니터링 시스템을 제안하였다. 이를 위하여, 우선 사면계측 및 USN 기술동향을 분석하고, 국내 사면붕괴 피해현황 및 사면붕괴 사례를 고찰하였다. 그리고 USN과 사면 모니터링 기술이 접목된 USN 기반 사면붕괴 모니터링의 시나리오를 개발하였다. 마지막으로 개발된 시나리오를 바탕으로 센서의 사양을 설정하고, 시스템 개발방안을 제시하였다. 본 연구의 결과들은 후속연구인 사면붕괴 모니터링 프로토타입 시스템 개발의 기반이 될 것으로 기대되며, 궁극적으로는 USN 기반의 사면붕괴 모니터링 시스템의 개발 및 현장 적용을 통하여 사면 재해 예방 및 피해 최소화에 기여할 것으로 기대된다.

키워드 : 유비쿼터스 센서 네트워크, 유에스엔, 직비, 사면붕괴, 모니터링시스템

1. 서론

1.1 연구 배경

최근 홈 네트워크 및 유비쿼터스 정보기술 (Ubiquitous Information Technology; U-IT)에 대한 일반인들의 관심이 크게 증가하고 있다. U-IT란, 무수히 많은 지능화된 사물들로부터 언제 어디서나 편안하고 안전한 서비스를 제공받을 수 있게 해 주는 이용자 중심의 정보기술을 말한다(한국RFID/USN 협회, 2008). 이러한 U-IT 중 가장 각광받는 기술 중 하나가 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network; USN)이다. USN은 네트워크가 널리 편재되어 있어서 어떠한 기기를 이용하든지 고속의 네트워크에 접속하여 정보를 교환할 수 있는 통신 인프라이다. 즉 USN이란, 정보수집을 위한 각종 센서가 널리 편재되어 있고, 언제 어디서든 네트워크에 접속하여 수집

된 정보를 활용하고 정보를 교환할 수 있는 인프라를 말한다(한국RFID/USN 협회, 2008). 이러한 USN은 기존 유선시스템이 가지고 있던 문제점 즉, 선의 단락으로 인한 네트워크의 붕괴, 고가의 시공비, 사람의 접근이 용이하지 않은 곳에 대한 유지관리의 어려움 등을 해결할 수 있는 대안으로 부각되고 있다.

한편 우리나라는 산지가 많아 도로, 주거지에 인접하여 절토 사면, 자연사면 등 사면이 많이 존재하고 있다. 그런데 우리나라의 사면은 태풍 및 집중호우에 취약하여, 태풍 및 집중호우가 발생하는 시기인 7~9월에 산사태 등 사면붕괴로 인한 재해가 집중적으로 발생되고 있다. 그리고 이러한 사면붕괴로 인하여 연평균 32명이 사망하여, 자연재해로 인한 사망자 수의 약 24.4%에 달하고 있다.

정부에서는 이러한 사면붕괴로 인한 재해를 방지하기 위하여 노력하고 있으며, 일 예로 소방방재청은 2007년 “급경사지 재해

* 종신회원, 한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사, ktkim@kict.re.kr(교신저자)

예방에 관한 법률”를 제정하였다. 또한 도로변 절토사면에 유선 기반의 모니터링 시스템을 설치하는 등 피해 저감을 위한 예방 대책 시행하고 있으나, 유선기술의 한계점이 노출되고 있다. 즉 일부 사면현장에서 활용중인 유선기반의 사면붕괴 모니터링 시스템의 경우에 사면에 설치된 센서 또는 그 주변에 낙뢰가 떨어져 전체 네트워크가 손상되는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 또한 설치현장이 전국 각지에 산재되어 있어, 오류가 발생되더라도 관리가 용이하지 않다. 그리고 현장의 경사각도가 크고 붕괴 위험이 있어 유지관리자의 접근이 용이하지 않은 실정이다. 이러한 기존 계측시스템에 U-IT를 접목하면, 기존 시스템의 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다(한재구, 김군태, 2007).

이러한 문제점을 해결하고자, USN 기반의 사면붕괴 모니터링 시스템을 제안하는 것이 본 연구의 목표이다. 즉 본 연구에서는 국내 사면환경에 적합한 사면붕괴 모니터링의 시나리오를 개발하고, 개발된 시나리오에 적합한 센서 사양 등을 설정하고자 한다. 이러한 시나리오개발 및 센서사양 설정을 통해, 향후 사면붕괴 모니터링 시스템 개발의 기반을 제공하고, 궁극적으로는 사면재해 예방 및 피해 최소화에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 다양한 사면계측방법 중 투자비용 대비 효율이 뛰어난 지표면위측정방법을 대상으로 한정하였다. 또한 지표면 위측정을 위한 센서는 신축계, 경사계, 우량계만을 대상으로 하여, USN기반 사면붕괴 모니터링 시스템의 시나리오를 개발하고, 대상 센서를 선정·시험한다.

본 연구는 다음과 같은 방법으로 수행되었다.

첫째, 기존 사면계측센서 동향 및 USN 기술동향에 대해서 조사·분석한다.

둘째, 국내의 사면붕괴 피해현황을 분석하고, 사면붕괴 사례를 고찰한다.

셋째, USN 기술과 센싱 기술이 접목된 USN기반의 사면붕괴 모니터링 시나리오를 개발한다.

넷째, 개발된 시나리오에 적합한 센서의 사양을 설정하고, 개발된 시나리오 및 선정된 센서에 기반한 사면붕괴 모니터링 시스템 개발 방안을 제시한다.

2. 관련기술 동향

2.1 사면붕괴 대책

사면붕괴의 대책공법은 크게 보호공법과 보강공법으로 구분할 수 있다. 보호공법이란, 사면이 현시점을 기준으로 허용 기준

안전율을 확보하고 있으나, 향후 우수나 풍화진행 등에 의해 안전율이 감소되는 것을 방지하기 위한 공법이다. 그리고 보강공법이란, 사면 활동에 대한 저항력을 증가시키거나 활동력을 감소시킴으로써 기존의 안전율을 확보하기 위한 일련의 공법을 말한다. 그리고 대책공법을 세부적으로 분류하면, 활동 하중을 경감하는 공법과 활동을 억제하는 공법, 낙석을 제어하는 공법, 절토사면 표면을 보호하는 공법, 수리 특성을 제어하는 공법, 기타 공법 등으로 나눌 수 있다.(한국건설기술연구원, 2004).

절토사면에 대한 대책공법을 선정할 때에는 절토사면에 대한 안정성 해석이 우선적으로 수행되어야 한다. 안정성 해석결과 절토사면의 불안정성이 확인된 경우에는 보강공법을 통해 절토사면의 안정성을 확보하여야 한다. 그러나, 절토사면에 대한 안정성 해석 결과, 안정하게 판정된 절토사면에 대해서도 예상치 못한 낙석의 도로 유입 차단이나, 풍화·침식 방지, 안정적인 수리 조건 운영을 위한 최소한의 보호공법을 현장 여건에 알맞게 고려하여 선정하여야 한다. 최근에는 항구적인 절토사면의 안정성 확보와 친환경적인 도로 건설을 위해 절취 후 식생공의 적용 등과 같이 보강공법과 보호공법의 적절한 조화가 이루어지고 있다. (한국건설기술연구원, 2004).

2.2 사면 계측기술

사면 붕괴에 대한 적극적인 방법은 사면붕괴가 일어날 것을 사전에 파악하여 붕괴되지 않게 보호, 보강을 하는 것이다. 그러나 이러한 사면붕괴를 사전에 예측하기 위해서는 사면에 발생하는 지반의 움직임을 관찰하고 이를 유발하는 원인들과의 상관관계를 규명하기 위한 연구가 필요하며, 그 기초 자료로서 계측기에 의한 계측결과를 활용할 수 있다(한재구, 김군태, 2007). 따라서 소방방재청이 2007년에 제정한 “급경사지 재해예방에 관한 법률” 등에 근거하여 사면에 실시간 자동화계측 시스템을 설치하는 추세이다.

국내 사면붕괴 계측분야에서는 일반적으로 지하수위계, 경사계, 변형계 혹은 신축계를 활용하고 있으며, 이러한 센서를 활용하여 지반변위를 관측하고 있다. 국내의 사면계측시스템은 댐이나 대규모 절개사면에 설치하여 운영하는 경우가 대부분이다. 그 예로, 1996년 보령댐 여수로 공사도중 대규모 균열이 발생하자, 안전한 시공관리와 시공후 유지관리를 위하여 1997년에 사면계측시스템을 설치하여 현재까지 가동중이다. 또 1999년 부산 도심지에서 발생하여 막대한 피해를 입혔던 황령산 붕괴현장에는 사면 재붕괴로 인한 피해를 방지하기 위하여 실시간 자동 계측시스템이 설치되어 운용중이다(국립방재연구소, 2004).

또 사면거동 모니터링을 위하여 다양한 기술들이 연구되고 있

다. 한국건설기술연구원(2006)에서는 유선기반의 도로절토사면 유지관리 시스템을 개발하여 국토변에 운용중이며, 금오공과대학교의 지반공학연구팀은 광섬유센서를 활용한 사면보강재의 거동 계측시스템을 연구하고 있다. 금오공과대학교 연구팀에 의해 개발된 광섬유센서 시스템은 동대구-구미간 8차선 확장공사 구간의 앵커 보강재에 설치되어 사면거동을 모니터링하고 있다(장기태 외 7인, 2001). 또 지상사진측량을 이용한 사면안정해석, GPS를 활용한 사면거동 계측 등 다양한 시도가 이루어지고 있다. <표 1>은 기존의 사면에 대한 계측항목과 계측기기를 정리한 것이다(한국건설기술연구원, 2004).

표 1. 일반적인 사면계측기기의 종류

구분	계측항목	계측기기
지표변위 측정	전체적인 표층부변위	· 측량법(surveying), 측점이용 · 삼각측량 · 사진측량(photogrammetry) · 광학수준측량 · 전자거리 측정기(EDM) · GPS 이용 침하량 측정
	표층부 균열측정	· 균열측정기(crack gauge) · 변위판 · 변위말뚝
	표층부 기울기	· 경사계(tilemeter)
	표층부 이동	· 신축계
지중변위 측정	지중 수평변위	· 지중경사계 · 파이프 변위계
	지중 수직변위	· 지중침하계(extensometer) · 보야홀 익스텐소미터 · 와이어 익스텐소미터
기타	공극수압 측정	· 공극수압계 (piezometer) · 진동철판식(vibrating wire type) · 동압식(pneumatic type) · 개방식(open stand pipe type)
	지하수위 측정	· 수압계(water level meter)
	강우량 측정	· 우량계 · 간이 우량계 · 자기 우량계

2.3 USN기술

USN이란 각종 센서에서 감지한 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다(한국RFID/USN 협회, 2008). 즉 필요한 모든 곳에 센서(전자태그)를 부착하여, 사물의 인식정보와 주변의 환경정보(온도, 습도, 오염, 균열정보 등)를 감지하고 이것을 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 것이다(남상엽 외, 2006). USN의 노드가 되는 것은 통신기기인데, 궁극적으로 모든 사물에 컴퓨팅 및 커뮤니케이션 기능을 부여(통신기기)하여 언제, 어디서나, 모든 통신이 가능한 환경을 구현하는 것이다. 그리고 USN의 주요기능을 물리적 공간과 전자적 공

간의 한계성 극복하기 위한 공간 과학적 측면에서 살펴보면, 정체성 식별(identification), 위치인식(location), 상황인지(context awareness), 물리적 구동(physical actuating), 사물간의 의사소통(thing to thing communication), 물적·전자적 속성간의 연계(real web interaction), 물리적 특성 검색(physical browsing)의 8가지 기능요소가 있다.

또한 USN 하드웨어의 기본 구성은 다음과 같다(텔레메틱스·USN연구단, 2006).

- 센서노드(Sensor Node) : 센서, 통신모듈, 배터리를 포함하며 환경정보를 센싱/전달하는 기능
- 싱크노드(Sink Node) : 외부네트워크 통신을 위한 중계노드
- 게이트웨이(Gateway) : IP기반으로 액세스할 수 있는 다양한 네트워크(LAN, WLAN, CDMA, WiBro, 위성 등)를 통하여 USN서비스를 제공할 수 있도록 IP기반 네트워크와 센서네트워크를 연계하는 시스템.
- USN 미들웨어(Middleware) : 대량의 센서데이터를 수집/필터링
- USN 응용플랫폼(Application Platform) : 다양한 산업분야에 응용서비스 제공을 위한 플랫폼.

이러한 USN분야에 가장 대표적으로 활용되는 기술로는 근거리무선통신 기술인 직비(Zigbee)를 들 수 있다. Zigbee는 IEEE 802.15.4(PHY, MAC)에 기반한 무선 기술 스펙으로, IEEE 802.15.4 표준을 기반으로, 상위 레벨의 통신 규약을 규정하고 있다. 즉, Zigbee는 무선 헤드폰 등 무선 개인 통신망(WPAN)을 위해, IEEE 802.15.4 저전력 디지털 라디오를 사용하도록 되어 있다. 따라서 블루투스과 같은 다른 무선 개인 통신망(WPANs)들과 달리, Zigbee는 비교적 저렴하고 간단한 기술이다. 또한 Zigbee는 적은 데이터 전송량, 적은 전력 소모량, 보안성을 갖춘(secure) 네트워킹 등에 최적화되어 있다.

3. 사면붕괴 사례 분석

우리나라는 국토의 70%가 산간 지역이다. 따라서 지형학적 특성과 경제 산업의 발달로 인하여 투자되는 국가기간망중 도로의 신설은 새로운 사면의 형성에 있어 필수불가결한 사안이 되었으며, 택지개발, 산업단지의 조성에 있어서도 사면구조물의 생성은 피할 수 없는 현실이다. 이로 인하여 도로변, 주택지 등에 사면이 다수 존재하고 있으며, 다양한 원인으로 인하여 사면붕괴 사고가 빈번히 발생되고 있다. 본 장에서는 사면붕괴 사고의 현황과 사례를 조사·분석한다.

3.1 사면붕괴 피해 현황

우리나라는 매년 자연재해로 많은 인명 및 재산피해가 발생되고 있다. 그 중 큰 비중을 차지하는 사면붕괴는 일반적으로 사면의 토질, 안식각, 강우량 등 다양한 변수와 관련이 있다. 그런데 우리나라는 산지가 많고 매년 7월~9월에 태풍과 집중호우가 발생하고 있어서, 도로변 절취사면의 붕괴, 자연사면의 산사태, 주택지의 축대 및 옹벽 붕괴 등 사면재해가 이 시기에 집중적으로 발생되고 있다. 또 최근의 경제성장으로 도심지를 벗어난 구릉지에서의 도로건설과 주택·산업단지 조성이 증가하고, 전 세계적인 기상이변으로 인하여 국지성 집중호우 등이 유발됨에 따라, 강우지역을 중심으로 사면재해가 증가하고 있다(국립방재연구소, 2004). 이로 인하여 최근 10년동안 산사태 등 사면붕괴로 인한 사망자 수는 318명이나 되는데, 이는 재해로 인한 전체 사망자 1,314명의 24.4%에 해당한다.

그러나 우리나라는 아직 산사태 또는 사면붕괴 예보를 위한 지표변위속도 관리기준치도 미비한 실정이다. 일본은 여러 기관에서 지표변위속도 관리기준치를 제시하고 있다. 일본 고속도로 조사회에서 제시한 지표변위 속도 관리기준은 신축계와 광파측거의로부터 구한 변위속도를 대상으로 한 것이다. 경계레벨의 관리기준치는 10~100mm/일, 대피레벨의 관리기준치는 100mm이상/일이다. 일본의 대부분의 기관에서 사용하는 지표 변위 속도 관리기준치는 이 값들과 거의 같은 범위인데, 이들 기준치는 대부분 산사태의 관리를 위해 제시된 것이다. 그리고 일본 사면안정소위원회가 1996년에 제시한 관리기준은 <표 2>와 같다.

표 2. 일본의 사면 유지관리 단계별 관리기준치

대응 구분		점검·유주의 또는 관측강화	대책의 검토	경계·응급 대책	엄중경계· 일시대피
신축계	지표면의 변위속도	5mm이상/10일	5~50 mm/5일	10~100 mm/일	100mm이상/일
지중 신축계 광 파 측거의					
삽입형지중 경사계	활동면 부근의 변위속도	1mm이상/10일	5~mm/5일	-	-

3.2 청곡1리 사면붕괴 사례

태풍 루사의 한반도 상륙 후인 2002년 9월 1일 오전 2시경, 집중호우로 인하여 피해가속 뒤편의 너비 약 10m, 길이 약 20m의 토석류가 발생하여, 하부로 밀려 내려와 주택을 완파시키고

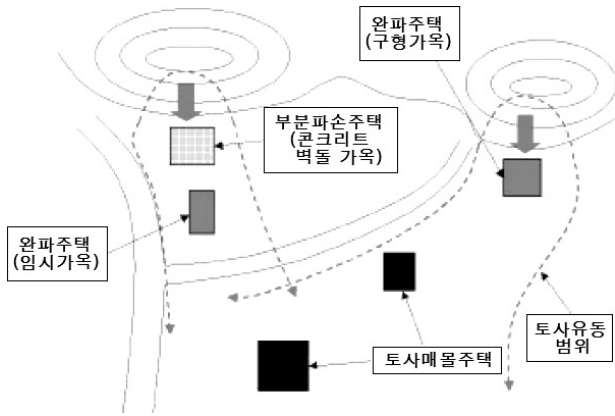
2명의 사망자를 발생시켰다. 특히 사면 하부에 약 1m 정도의 단차가 있어, 하부로 내려온 토사는 상부로의 상향이동을 통해 피해가속을 정면으로 덮쳐 주택을 완파·측면이동 시켰다. 또 사망사고 발생 인근 사면에서도 산사태가 발생하여 하부에 위치하고 있는 2층 규모의 콘크리트 벽돌 주택으로 밀려 내려왔으나, 주택의 외벽 벽돌만 파괴되었고, 건물 자체는 큰 피해를 입지 않았다. 그러나 콘크리트 벽돌 주택 바로 아래에 위치하고 있는 건설회사 숙소용 컨테이너 박스는 완만한 토사의 흐름에도 불구하고 완파되었다. 사고 상황을 도식화하면, <그림 1>과 같다(국립방재연구소, 2004).

4. 사면붕괴 모니터링 시나리오

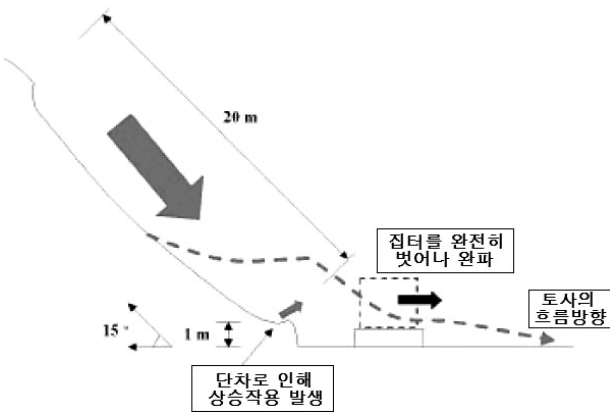
4.1 기존 모니터링 시스템의 한계점

기존의 유선기반 사면붕괴 모니터링 시스템의 설치작업은 센서의 종류 및 현장특성에 따라 다양하다. 그러나 작업흐름을 일반화하여 간단히 요약하면, ① 작업준비, ② 센서설치, ③ 통신선·전원선설치, ④ 전원연결·시험, ⑤ 마무리의 다섯 단계로 구분할 수 있다. 이 때 다른 작업들은 현장주변에서 처리할 수 있으나, ② 센서설치와 ③ 통신선·전원선설치는 반드시 사면현장에서 직접 작업을 수행하여야 한다. 그런데 사면붕괴 모니터링 시스템을 설치하려는 곳은 사면의 경사가 심하거나, 지반이 불안정하여 붕괴 또는 거동이 예상되는 곳이므로, 대부분의 설치현장은 작업환경이 위험하고 작업공간을 확보하기 어려운 실정이다. 따라서 현장 작업의 사고가능성이 높고, 작업효율도 매우 낮다. 또한 현장 여건에 따라 다르지만, 일부 현장의 경우 센서간 거리가 멀어서 통신선과 전원선의 설치비용이 크게 증가하는 경우도 있다.

또한 시스템이 설치되는 많은 사면현장이 산악지대에 위치하므로, 사면현장에 설치되는 유선기반의 사면붕괴 모니터링 시스템은 낙뢰 피해의 위험에 노출되게 된다. 즉 사면에 설치된 센서 또는 그 주변에 낙뢰가 떨어지면, 통신선 또는 전원선을 통하여 고압의 전기가 흐르게 된다. 이로 인하여 낙뢰 위치 인근의 센서 뿐만 아니라, 전체 모니터링 네트워크가 손상되는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 그 밖에도 사면현장을 이동하는 동물들이 센서의 유선망에 걸려서 유선망을 단절시키는 문제도 자주 발생된다. 이때는 동물들이 상처를 입을 뿐 만 아니라, 유선망 단절부위 이후의 센서들은 동작이 불가능하게 되거나 동작하더라도 정보가 전달되지 않게 된다. 또 심각한 경우에는 전체 모니터링 네트워크가 손상을 입을 수도 있다.



(a) 평면도



(b) 단면도



(c) 인명피해 발생 주택

그림 1. 청계1리 사면붕괴 사고사태 현장

이러한 모니터링 네트워크에 오류가 발생되면, 관리자가 즉시 조치를 취하여야 하나, 기존 유선 시스템은 이러한 후속조치도 용이하지 않은 실정이다. 왜냐하면, 모니터링 시스템 설치현장이 전국 각지에 산재되어 있어서 관리자가 조치하러 가는 데에 시간이 소요되며, 유선망의 한계로 인하여 오류부분의 우회 등의 조치를 원격지에서 조작하기도 용이하지 않기 때문이다. 그리고 현장의 경사각도가 크고 붕괴위험이 있어서, 보수작업시에

유지관리자는 항상 사고 위험에 노출되게 된다.

따라서 이러한 기존의 유선 모니터링 시스템에 U-IT를 접목하면, 기존 시스템의 장점을 활용하면서도 한계점을 극복할 수 있을 것으로 기대된다. 즉 통신선, 전원선 등 유선망 설치비용을 절감하고 공기를 단축시키며, 위험한 작업환경에 속하는 사면에서의 작업시간을 줄일 수 있다. 또 낙석, 낙뢰, 동물이동 등이 한개의 센서노드에 이상을 발생시키더라도 무선 네트워크를 통해 정보를 우회시킴으로써, 전체 네트워크는 영향을 크게 받지 않고 동작할 수 있게 된다.

4.2 모니터링 시스템의 요구조건 설정

본 연구에서는 시나리오 설정을 위하여, 우선 다음과 같은 시스템 요구조건을 설정하였다. 첫째, 사면거동의 모니터링 방법은 국토해양부에서 국도변에 가장 많이 적용하고 있으며, 일본에서도 일반적으로 적용하는 지표변위측정 방법을 적용하며, 센서는 지표변위측정에 적합한 신축계, 지표경사계 및 우량계를 사용한다. 둘째, 사면에 설치될 센서노드는 별도의 전원선 또는 통신선 없이 독립적으로 동작한다. 셋째, 일부 센서노드에 이상이 발생하거나, 일부 통신라인이 단절될 지라도, 불량센서 또는 불량라인을 제외한 전체 시스템은 이상없이 동작한다. 넷째, 센싱된 정보는 직접 다른 센서노드를 통하여 현장에 설치된 게이트웨이까지 전달된다. 다섯째, 게이트웨이에 수집된 정보는 CDMA등 무선망을 통하여 관제소까지 전달된다.

4.3 모니터링 시나리오 설정

4.3.1 정보의 흐름

사면붕괴 모니터링 시스템의 정보수집을 위하여, 우선 붕괴위험이 있거나 거동이 예상되는 사면에 센서를 설치한다. 사면지반에서 병진(translation), 회전(rotation), 처짐(settlement) 등의 거동이 발생하면 신축계와 경사계가 이를 감지한다. 센서에 의해서 감지된 거동 데이터는 Zigbee 무선통신 네트워크를 통해 데이터로거로 수집되고, 수집된 데이터는 CDMA 네트워크를 통해 관제소로 전송된다.

4.3.2 센싱주기 및 관리범위 설정

위와 같은 정보흐름을 구현할 수 있는 센서네트워크가 사면현장에 설치되어 동작되고 나면, 시스템의 센싱주기와 관리범위(안전기준)는 관리자가 원격지에서 자유롭게 조정할 수 있다. 관리자는 강우여부, 지표변위여부 등에 따라 주기를 조정하며, 주기가 조정되면 조정된 주기마다 센서노드가 자동으로 깨어나서(wake up) 일정시간을 센싱하고, 데이터를 전송한 후 다시 슬립

(sleep)모드로 전환된다. 이는 배터리의 소모를 최소화하기 위한 방법이다.

4.3.3 전원

전원은 태양전지, 풍력발전 등에 의해 독립적으로 공급된다. 또 몇몇 센서노드가 이상동작 하더라도 전체 네트워크는 동작할 수 있도록, 센서간 정보를 전달하는 네트워크의 구성은 mesh 방식을 사용한다. 다만 시스템 개발의 초기 단계에서는, 시스템의 안정성 검증을 위하여 단계적으로 기술을 적용시킬 필요가 있다. 따라서 시스템 개발의 초기 단계에서는 전원은 상전원, 네트워크 구성은 star 방식을 사용하는 프로토타입 시스템을 개발하여, 시스템의 현장적용성 시험을 통해 성능과 안정성을 검증하는 것이 바람직하다. 그리고 시험결과로 도출되는 개선사항들을 반영하여 본 시스템을 개발하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

4.3.4 노드간 통신방식

센서노드와 싱크노드간 통신과 싱크노드와 게이트웨이간 통신은 Zigbee 기술을 사용한다. 왜냐하면 센서노드에서 싱크노드를 거쳐 게이트웨이로 전달되는 네트워크는 사면현장이라는 비교적 한정된 범위 내에서 네트워크를 구성하기 위해서 설치되기 때문이다. 게이트웨이와 관제소간 통신은 CDMA망을 이용하는데, 관제소는 전국을 총괄하는 곳 또는 지역을 총괄하는 곳 한 곳에 설치될 것이기 때문이다. 다시 말하면, 소수의 관제소가 전국 각지에 산재되어 있는 현장으로부터 정보를 수집하는 데에는 Zigbee 기술이 다소 비효율적일 수 있으므로, 게이트웨이와 관제소간의 교신은 전국에 이미 충분한 기반시설을 갖추고 있는 CDMA망을 이용하는 것이다.

4.3.5 이상상황에 대한 대응

마지막으로 사면에서 관리범위를 벗어난 이상거동이 발생될 경우, 관련자에게 SMS 문자를 송출하고 관제소의 서버에서는 경고음이 발생된다.

상술한 사면붕괴 모니터링 시나리오의 기본개념을 도식화하면 <그림 2>와 같다.

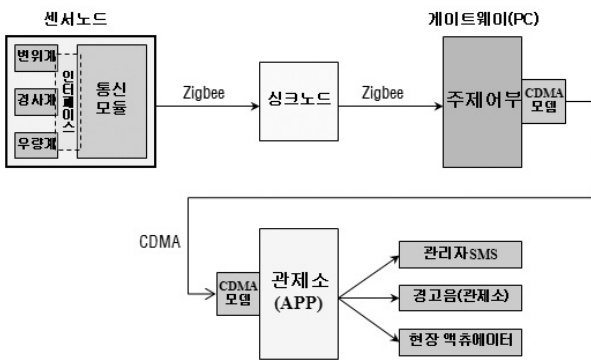


그림 2. 사면붕괴 모니터링 흐름도

5. 사면붕괴 모니터링 센서 선정

5.1 센서의 적합성

사면의 거동을 계측할 때에는 사면의 변형이나 붕괴 형태를 정확히 예상하고 파악한 다음에 계측의 목적을 명확히 하여 그 목적에 맞는 계측기기의 선정이나 배치, 계측의 방법, 관리기준치 등을 검토하여 계측계획을 작성하여야 한다. 계측항목은 계측의 목적, 사면의 변상현황, 붕괴형태, 현지조건 등을 충분히 검토한 다음에 결정하여야 하며, 계측기기는 필요로 하는 데이터의 정밀도, 계측기기의 특성, 현지조건 등을 고려하여 계측항목에 따라 적절한 것을 선정하는 것이 중요하다. 계측항목에는 지표면의 변동, 지중의 변동, 수문현황, 구조물의 거동 등이 있으며, 이것들을 정량적으로 파악하기 위한 각종 계측기기가 개발·실용화되었다. <표 3>은 사면의 붕괴형태에 따른 계측기기의 적합성을 정리한 것이다(국립방재연구소, 2004).

표 3. 사면의 붕괴형태에 따른 계측기기의 적합성

계측기기명 및 계측방법	주요 계측대상 항목	붕락현상	평면활동 붕괴	쐐기변형 붕괴	원호활동 붕괴	복합활동 붕괴
지표면 신축계	· 인장부 부근의 머리부 변위량		○	○	◎	◎
지반 경사계	· 활동머리부, 중간부, 말단부의 표면경사량				◎	◎
광파 측거법	· 지표면 변위량(수평, 수직성분)		△	△	△	○
파이프 변형계	· 활동면 위치의 검출과 변형누적경향		△	△	△	△
지중 변위계	· 지중변위량(수평, 수직성분)		○	○	○	○
검지선식 낙석 감지기	· 낙석의 감지	◎				
GPS측량	· 지표면 변위량(수평, 수직성분)					△
지하 수위계	· 지하수 동태관측과 사면안정도의 검토		○	○	○	○
간극 수압계	· 사면부근의 간극수압 측정		△	△	△	△
강우량계	· 강우량 데이터 수집(사면안정과 강우의 관계)		○	○	◎	◎

(기호설명) ◎ : 가장 적합, ○ : 적합, △ : 약간 적합

사면붕괴 현상은 대개 사면에 분포하는 연약면을 따라 발생한다. 연약면에서 발생하는 사면의 변형·붕락 등의 운동형태를 명확히 밝히기 위해서는 통상 지표면과 지중에 각종 계측기기를 설치하고, 절개면의 지질·지형 등을 조사하고 지질구조를 확인하며, 지표면 이동을 계측하는 것이 필요하다. 또한 사면 붕괴에 대한 예지방법으로 사면의 연약면에서 발생하는 인장균열 및 지표의 이동을 파악하는 방법이 가장 이상적인 방법으로 평가되고 있다. 특히 이 방법은 실시간 변위량과 연속성을 분석하여 대책을 강구하거나 사면붕괴 경보를 발령함으로써 피해를 최소화시

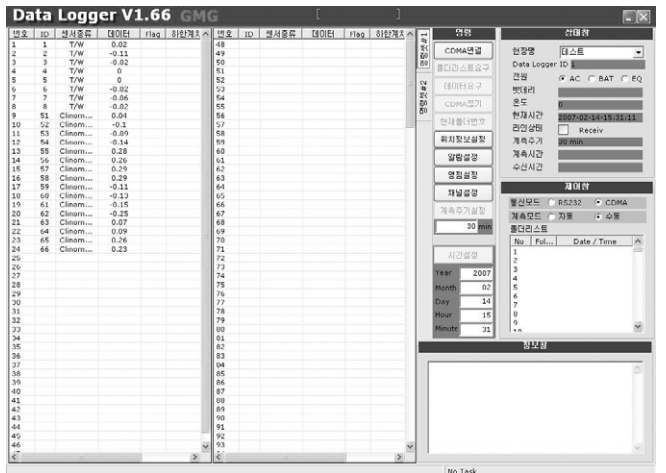
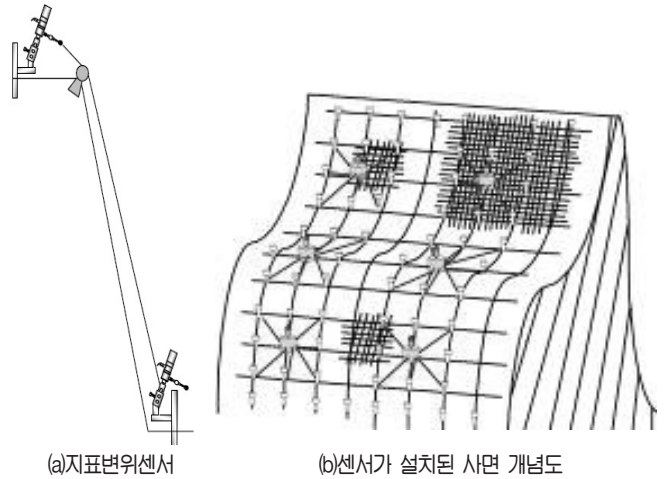
킬 수 있다(국립방재연구소, 2004).

5.2 센서의 선정

본 연구에서는 다양한 사면계측방법 중 투자비용 대비 효율이 좋은 지표변위측정방법을 선정한다. 이를 위해서 신축계와 지표 경사계 그리고 우량계를 사용하며, 국내 유선기반 사면계측 시스템 분석결과를 바탕으로 설정한 센서사양은 <표 4>와 같다.

표 4. 대상 센서의 종류 및 사양

항목	사양
tension-wire : 사면의 연약면에서 발생하는 인장균열 및 지표의 이동을 측정	
기본센서 입력채널 수	32 ch
센서 입력 확장 범위	128 ch
센서공급전원	5VDC
센서공급전원 반복정밀도	≤0.1%
신호처리회로 최종출력	0 ~ 5VDC
필터	3 order vessel active 1Hz (-3dB)
A/D Converter	12bit
센서Unit Data인터페이스	RS-485
센서저항값	100Kohm
센서 분해능	0.1mm
센서 사용온도	-55°C ~ +125°C
센서 진동영향	15G 0.1ms max
센서 쇼크영향	50G 0.1ms max
소비전력	3W이하(5V 500mA)
tiltmeter : Wire 말뚝설치 범위 바깥에서 대규모사면붕괴 발생 혹은 사면의 병진활동(Rigid Body 거동)과 같이 이동말뚝 사이의 길이 변화 감지가 불가능한 경우 활동의 기울기 변화 측정	
센서 사용온도	-30°C ~ +65°C
계측시스템 사용온도	-30°C ~ +70°C
전력소모센서 1개	±15V, ±2.5mA
전력소모 시스템	5V, 500mA
시스템 인터페이스	RS-485
직선성	0.1°
분해능	0.001°
센서크기	100×70×60
rain gauge : 사면붕괴의 주요 원인인 강우량 측정	
Collecting Area	200m Square cm
Resolution	0.5mm
Dimension	200Dia. x 500mm
Weight	2.5kg
통신방식	RS 232/485
Scanning time	Real-Time



(c)사용자 인터페이스

그림 3. 시스템 개발 방안

6. 결론

우리나라는 매년 자연재난으로 많은 인명 및 재산피해가 발생되고 있으며, 산지가 많고, 매년 7월~9월에 태풍과 집중호우가 발생하는 우리나라의 특성상 사면붕괴는 자연재해 중 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 사면붕괴로 인한 재해를 예방하기 위하여 정부, 학계, 연구계, 산업계 등 각계에서는 제도적 장치를 만들고 사면에 유선 기반의 모니터링 시스템을 설치하는 등 피해 저감을 위한 다양한 노력을 경주하고 있다. 그러나 아직까지는 사면붕괴를 예방하기 위한 근본적인 대책을 마련하지 못하고 있는 실정이다. 특히 최근에 전국적으로 설치되기 시작한 유선 기반의 모니터링 시스템은, 사면거동을 과학적으로 분석하기 시작하였다는 점에서 의의가 있으나, 낙뢰 등으로 인한 시스템 오류 가능성, 시스템 복구 및 관리의 어려움 등 유선시스템으로서의 한계가 노출되고 있다.

참고 문헌

따라서 이러한 문제점을 해결하고자, 본 연구에서는 USN 기반의 사면붕괴 모니터링 시스템을 제안하였다. 이를 위하여, 우선 사면계측 동향 및 USN 기술동향을 분석하고, 국내 사면붕괴 피해현황 및 사면붕괴 사례를 고찰하였다. 그리고 첨단 IT인 USN과 사면 모니터링 기술이 접목된 USN 기반 사면붕괴 모니터링의 시나리오를 개발하였다. 마지막으로 개발된 시나리오를 바탕으로 센서의 사양을 설정하고, 시스템 개발방안을 제시하였다. 이러한 시나리오 및 센서사양 등은 후속연구인 사면붕괴 모니터링 프로토타입 시스템 개발의 기반이 될 것으로 기대된다. 또한 궁극적으로는 USN 기반의 사면붕괴 모니터링 시스템의 개발 및 현장 적용을 통하여 사면재해 예방 및 피해 최소화에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 '센서 네트워크 시스템 기술 개발(과제번호 2005-S-038-03)' 연구 결과의 일부임.

- 국립방재연구소(2002), 사면붕괴의 유형별 원인과 저감대책 연구
 국립방재연구소(2004), 사면붕괴감지 및 관측에 관한 연구(I), 소방방재청
 남상엽 외 2인(2006), 유비쿼터스 센서 네트워크, 도서출판 상학당
 장기태 외 7인(2001), 광섬유격자 센서를 활용한 사면거동 실시간 안전진단시스템, 한국지반공학회 사면안정기술위원회 학술발표회
 한국건설기술연구원(2004), 2003년도 도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용, 건설교통부
 한국건설기술연구원(2006), 2005년도 도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용, 건설교통부
 한국RFID/USN 협회(2008), 유비쿼터스지식능력검정
 한재구, 김균태(2007), USN 기술을 이용한 사면붕괴모니터링 시범시스템 개발, 한국건설관리학회 2007정기학술발표대 회논문집, pp316-321

논문제출일: 2010.10.14

논문심사일: 2010.10.15

심사완료일: 2010.11.15

Abstract

Seventy percent of Korea's national territory is covered with mountains, and the land is frequently exposed to typhoons and localized torrential downpours, particularly in July through September. For this reason, slope failure is one of the most frequent types of natural disasters in Korea. To prevent the damage caused by slope failure, the Korean government, academia and industry have strived together to develop and install a wired system for monitoring slope failures. However, conventional wired monitoring systems have been reported to have limitations, such as possible system errors caused by lightning, and the difficulties of restoration and management of the systems.

To solve these problems, this research suggests a USN-based monitoring system for slope failures. First, the trend of slope measurement and USN technology was analyzed, and then the current status of damage caused by slope failures in Korea was reviewed. Next, a USN-based monitoring scenario for slope failures, incorporating both USN and slope monitoring technique, was developed. Finally, sensors were decided based on the developed scenario. It is expected that the results of this study will be utilized as fundamental data for the development of monitoring prototype systems for slope failures in the future. The development of the USN-based monitoring system for slope failures and its application in the field will also ultimately contribute to the prevention of slope failures and the minimization of related damage.

Keywords : *Ubiquitous Sensor Network, USN, Zigbee, slope failure, monitoring system*
