

IoT 기술 기반의 산악지 모니터링 시스템 개발

김군태

한국건설기술연구원 건설시스템연구센터

Development of a Mountainous Area Monitoring System based on IoT Technology

Kyoon-Tai Kim

Construction System Research Center, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

요약 국토의 70%가 산지인 우리나라는 산악지 거동으로 인한 시설물 피해가 많이 발생한다. 그런데 최근에 모노레일 등 산악활동을 위한 시설물에 대한 건설수요가 증가하면서, 시설물 피해 가능성이 점점 더 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 유선기반 산악지 모니터링 시스템을 개선하여, IoT기술이 적용된 산악지 실시간 모니터링시스템을 구축하고, 현장 적용성을 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 기존 산악지 시설물 현황과 모니터링 현황을 조사·분석하고, 기존 유선 모니터링 기술을 분석하였다. 둘째, IoT기반 모니터링을 위한 시나리오를 개발하고, 이에 적합한 RF통신모듈과 RF통신모듈 인터페이스, 전원부, 태양전지 등 센서노드를 개발하였다. 셋째, K대 현장에 테스트베드를 구축하고, 이에 대해서 현장적용성 실험을 수행하였다. 그 결과 초기 무선통신의 오류를 보완한 이후에는 유선시스템과 동일하게 데이터가 수집되는 것으로 나타났다. 넷째, 개발된 시스템을 활용하면, 약 25%(4시간)의 공기단축과 약 3~52%(8~119만원) 수준의 비용절감이 가능할 것으로 예상된다. 다섯째, 피복케이블 운반과 같이 위험한 작업환경인 사면현장에서 수행해야 하는 작업들 중 일부를 제거함으로써, 작업원의 안전도를 크게 향상시킬 수 있다. 본 연구의 한계로는, IoT환경에 최적화된 센서를 사용하지 못하였고, 센서노드의 수가 적다는 점을 들 수 있다.

Abstract 70 percent of Korea's territory is covered with mountains, whose difficult conditions can cause damage to facilities. Recently, the demand for facilities related to outdoor activities including monorails has been on the rise, and such facilities are much more likely to become damaged. For this reason, a monitoring system applying IoT to mountainous areas was developed and its applicability is evaluated in this study. The current status of the existing mountainous facilities and monitoring systems were reviewed, and the current wired monitoring technology was analyzed. A scenario for IoT-based monitoring was developed, and then sensor nodes were developed, which include an RF-communication module and interface, power-supply and solar-cell. A testbed was set up at K University. The same data was collected by the wireless system as had been collected by the wired one. The study findings are as follows. Firstly, by using the wireless system, it is estimated that the construction duration can be reduced by about 25 percent, while the construction costs can be reduced by about 3~52 percent. Secondly, the safety of the construction workers can be improved by making the working conditions less dangerous, such as by eliminating the need to transport cables.

Keywords : Internet of Things (IoT), Monitoring System, Slope Failure, Ubiquitous Sensor Network (USN), Wireless Sensor Network (WSN)

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업(20160637-001) 'IoT기반의 모노레일 지주거동 모니터링 기술의 테스트베드 적용 및 검증' 연구 결과의 일부임.

*Corresponding Author : Kyoon-Tai Kim (KICT)

Tel: +82-31-910-0420 email: ktkim@kict.re.kr

Received November 28, 2016

Revised (1st February 22, 2017, 2nd March 9, 2017)

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 국토의 70%가 산간 지역으로, 산악지 개발의 여지가 많다. 따라서 정부에서는 새로운 관광시장으로서 자연친화적 산악관광개발의 근거를 마련하고 투자촉진을 통해 지역경제를 활성화하기 위하여, ‘산악관광진흥구역’을 지정하여 산지 활용도를 높이는 제도의 도입을 추진하고 있다. 이러한 추세에 발맞춰 문화·관광산업의 진흥, 장애인·노약자와 같은 교통약자 보호 등의 목적으로 국립공원 등 산지에 ‘친환경 관광궤도(이하 모노레일이라 함)’ 건설수요도 증가하고 있다[1].

그런데 모노레일 등 산악관광 시설물은 산악지에 설치되므로, 집중호우 시거나 해빙기에 산악지의 지반이 거동하면 시설물도 피해를 입을 수 있다. 그리고 산악지 거동을 예측하고 시설물 피해를 예방하기 위해서는, 거동의 실시간 모니터링 기술이 필요하다.

한편 IT분야는 과거의 지그비(ZigBee) 기술에 기반한 유비쿼터스 센서 네트워크(USN; Ubiquitous Sensor Network) 시대에서, 현재 사물인터넷(IoT; Internet of Things) 시대로 변해가고 있다. IoT란 우리가 사용하는 도구들이 인터넷과 연결되고 각 사물이 서로 소통할 수 있으며, 나아가 사물이 스스로 행동하는 지능을 갖게 되는 것이다[2]. 이러한 기술을 사면, 모노레일 등 산악지 거동 모니터링 분야에 접목시키면, 선의 단락으로 인한 네트워크의 붕괴, 고가의 시공비, 사람의 접근이 용이하지 않은 곳에 대한 유지관리의 어려움 등 유선 모니터링 시스템의 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다[3].

본 연구의 목적은 IoT 기술을 이용한 산악지 거동 모니터링 시스템을 개발하고, 시험적용을 통해 개발된 시스템의 성능을 분석하는 것이다. 다시 말하면, 산악지에 설치되어 시설물 거동이나 사면붕괴 위험을 모니터링 하는 IoT 기반의 시스템을 개발하고, 성능, 공사기간, 비용, 안전성, 유지관리 효율성 등 사업관리 관점에서 개발된 시스템과 기존 시스템의 성능을 비교분석하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 기존의 유선기반 산악지 모니터링 시스템에 IoT기술을 적용하는 것에 국한한다. 따라서 기존 센서와 통신하기 위한 노드, 전원공급방법 등 IoT 관련 기술에 집중하고, 센서개발이나 사면의 불안정도 평

가 등은 본 연구에서는 다루지 않는다. 본 연구의 방법은 우선, 산악지 거동사례, 모노레일 등 산악지 시설물 사례를 조사하고, 기존의 산악지 모니터링 기술을 고찰한다. 다음으로 기존 유선기반 모니터링 시스템의 구성, 센서, 설치방법 및 개선점을 분석한다. 그리고 IoT 기반산악지 모니터링 시나리오를 설정하고, 프로토타입 시스템을 개발한다. 마지막으로 시스템을 테스트베드에 적용하고, 성능, 시공성, 안전성, 유지관리 효율성을 평가한다.

2. 관련기술 동향

2.1 산악지 거동 사례

2015년 7월 13일에 제주도는 L호텔 OT테라스 건축물 사용금지 명령을 내렸다. L호텔은 영화 쉬리 촬영지인 약 60m높이의 해안절벽에 휴게공간 ‘OT테라스’를 지어, 2015년 5월 28일부터 운영하였다. 이 건물은 약 100제곱미터 규모로 1층은 테라스, 2층은 루프탑이고, 공사 기간은 약 40일이 소요됐다[4].



Fig. 1. Collapse of 'Shirley Hill' [5]
 (a) Collapse direction (b)View of a collapsed cliff
 (c) The base of the building
 (d) The cracks near the collapsed cliff

개장일로부터 약 한 달여 뒤인 7월 1일에, 이 건물을 받치고 있는 약 60미터 높이의 절벽 측면이 붕괴되면서 쓸려 내려간 토사가 발견되었다[4].(Fig. 1 참조) 제주도 안전관리자문단은 경사면 유실 원인으로 건축물이 해안 절벽에서 충분히 이격해 건축할 수 있는 대지의 여유가 있음에도 불구하고 해안경관 조망을 위해 해안절벽 경계면에 매우 근접해 시공했다며, 근본 원인은 L호텔 측에

있다고 판단하였다. 또 건축물 하중을 지지하는 기초 주변의 여유공간 부족으로 상부하중을 지반에 전달하는 지반지지 내력 범위가 충분히 확보되지 않아, 붕괴 전에 내렸던 많은 빗물이 지반에 영향을 미쳐 테라스 경사면 지반 토사가 붕괴된 것으로 추정된다고 밝혔다[5]. 이와 같이, 장마, 호우 이후나 해빙기에 산악지 구조물 거동이나 사면붕괴가 많이 발생하는 것으로 알려져 있다.

2.2 산지 모노레일 사례와 모니터링 필요성

최근에 산악지에 시설물을 시공한 사례로는 2016년 8월에 시험 운행한, 한라산 어리목탐방로 입구의 전기 모노레일이 있다. 이 모노레일은 앞쪽의 견인차가 탑승대를 견인하는 구조로, 견인차 내부에 운전석과 함께 견인 중량 500kg의 모터와 배터리가 장착되어 있다. 그 뒤에 3인용 탑승대와 부상자 수송용 간이침대가 이어져 있다. 이 모노레일의 궤도는 아래쪽에 톱니가 있는 5×5cm 크기의 정사각형 각관 구조인데, 궤도가 하나이므로 주행 중 넘어지거나 미끄러지지 않도록 설계되었다. 이 전기 모노레일의 최대 등판 각도는 45°이며 속도는 분당 60~80m로, 어리목에서 해발 1천700m 윗세오름까지 1시간 10분이 소요된다. 제주도 한라산국립공원관리사무소는 9월부터 등산 약자들을 위해 이 전기 모노레일을 시범 운행한 후, 문제점을 개선하여 내년부터 본격적으로 운영할 계획이라고 밝혔다[6].

Fig. 2를 보면, 모노레일은 소규모 시설물로 산악지에 설치되므로, 해빙기나 집중호우 시기에 이를 지지하는 지주 등 구조물이 거동할 가능성이 높음을 알 수 있다. 왜냐하면 모노레일 규격 등 사업규모 측면, 녹지보호 등 환경적 측면, 그리고 산악지역이라는 위치적 측면의 공사여건을 감안할 때, 앵커링(anchoring)과 같은 대규모 기초공사를 수행하기 곤란하다. 따라서 가설구조 수준으로 시공되게 되는데, 이러한 시설물은 지반의 거동에 크게 영향 받기 때문이다[7]. 기존에는 인력에 의존하여 모노레일 지주의 거동여부를 파악하였다. 그러나 이러한 인력의존형 방식은 비용과 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라, 검사원이 위험지에서 검사를 하여야 한다는 문제점이 있다[1]. 따라서 모노레일과 같은 시설물의 거동을 모니터링하는 기술이 필수적이며, 최근에 주목받고 있는 IoT기술을 접목시킨다면 보다 효율적인 것으로 예상된다[7].



Fig. 2. Monorail for Halla mountain tourism[6]

2.3 산악지 거동 모니터링 기술

우리나라는 24시간 내에 200mm 이상의 강우가 지속되거나, 강우가 하루이상 지속되면서 시간당 평균 강우량이 10mm/h 이상일 경우에 산사태가 발생할 위험이 크다[8]. 따라서 국내 사면붕괴 계측분야에서는 일반적으로 지하수위계, 경사계, 변형계 혹은 신축계를 활용하여 지반변위를 관측하고 있다. 국내의 사면계측시스템은 댐이나 대규모 절개사면에 설치하여 운영하는 경우가 대부분이다. 그 예로, 1996년 보령댐 여수로 공사도중 대규모 균열이 발생하자, 안전한 시공관리와 시공 후 유지관리를 위하여 1997년에 계측시스템을 설치하였다. 또 1999년 부산 도심지에서 발생하여 막대한 피해를 입혔던 황령산 붕괴현장에는 사면 재붕괴로 인한 피해를 방지하기 위하여 실시간 자동계측시스템이 설치되어 운용 중이다[9].

2.4 기존연구 분석

사면거동 모니터링을 위하여 다양한 기술들이 연구되고 있다. 장기태 등(2000)은 광섬유센서를 활용한 사면 보강재의 거동 계측시스템을 연구하였다[10]. 이 연구는 사면의 거동을 계측하고자 시도였다는 점에서 본 연구와 유사하나, 보강재를 대상으로 했다는 점과 광섬유센서를 활용했다는 점에서 본 연구와 차이가 있다.

한재구 등(2007)은 USN기반의 사면붕괴 모니터링 시범시스템을 개발하였다[11]. 이 연구는 사면을 대상으로 거동을 계측하고자 하였다는 점에서 본 연구와 유사하다. 그러나 개발된 시스템을 시범적용하면서 평지에 적용하였다는 한계가 있다.

Kim & Han(2008)은 산악지 거동 모니터링 시스템을 개발하고 테스트베드에 적용하였다[3]. 그러나 적용 자체에 집중하고, 프로세스 분석, 공기·비용·안전 등과 같

은 요소기술별 문제점과 개선결과가 정리되지 않았다는 한계가 있다.

김군태 등(2016)은 산악관광을 위한 모노레일 등의 시설물에 대한 유지관리 이슈와 기술개발 방향을 제시하였다[1]. 이 연구는 산악관광시대에 대비하여 사면 및 산악시설물 유지관리의 중요성을 제기하였다는 점에서 의의가 있으나, 실제 시스템 개발은 이루어지지 못하였다.

2.5 사물인터넷

사물인터넷이란 일상생활에서 사용하던 사물들을 인터넷에 연결시키는 것을 말한다. 다시 말하면, 평소에 우리가 사용하는 가전제품이나 가구 등을 인터넷에 연결해 삶의 질을 개선시키는 기술이다. 이 때, 사물들은 단순히 인터넷에 연결되는 것이 아니라, 센서를 이용하여 주변 환경정보를 인식하기도 한다. 이와 같은 기술이 가정에 도입되면 스마트홈이라 하고, 도시에 적용되면 스마트시티라고 할 수 있다. 또 건강분야에 적용되면 스마트헬스케어라고 하며, 교통과 연결되면 스마트 교통이라고 한다. 본 연구에서와 같이 사회기반시설을 모니터링하는 경우에는 스마트 인프라스트럭처라고 할 수 있다.

3. 유선기반 사면모니터링 시스템

3.1 기존 유선기반 시스템의 구성

사면 계측은 매설형과 표면부착형으로 대별 할 수 있다. 본 연구에서는 공사비가 저렴하고 사면 내 설치밀도를 증가시킬 수 있는 표면부착형 센서를 사용한 시스템을 대상으로 선정하였다. 대상 시스템은 지표면위 계측을 위한 신축계, X축과 Y축의 기울어짐을 측정하기 위한 두개의 지표경사계, 그리고 강우량 측정을 위한 우량계를 사용한다. 신축계와 두 개의 지표경사계의 경우, Fig. 3과 같이, 이들 센서를 하나의 제품으로 구성한 TRS(Translation, Rotation and Settlement)센서를 사용하였다[3].

3.1.1 TRS 센서

TRS센서는 변위를 측정하는 텐션와이어(tension wire)와, 지반의 각도와 방향성을 판단하는 틸트미터(tiltmeter)로 구성된다(Fig. 3(a) 참조). 텐션와이어는 일정한 장력을 갖는 폴리로 연결되어, 이동말뚝과 고정말뚝(reference)사이의 지표변위 및 지반의 거동을 측정할

수 있다. 틸트미터는 이동말뚝 설치범위 바깥에서 대규모 사면붕괴 혹은 사면 병진 활동 발생과 같이 이동말뚝 사이의 길이변화 감지가 불가능한 경우 활동의 기울기 변화를 측정하기 위해 설치된다. 또 틸트미터는 텐션와이어와 결합하여 변위의 벡터 방향을 감지할 수 있어, 보강의 설치 위치와 각도를 결정하는 자료를 수집한다[3].

3.1.2 우량계

전술한 바와 같이, 우리나라에서 발생하는 사면붕괴의 주요한 요인은 강우에 의한 것이다. 그러므로 강우량 데이터는 사면거동 분석에서 안정성을 판단하는 직접적인 근거가 될 수 없다. 그러나 지하수 조건 및 영향을 토대로 인접 계측기의 분석 및 신뢰도를 향상시킴으로써 지반조건에 따른 정확한 변위분석을 하는 데에 간접적인 정보가 될 수 있다. 이를 위하여 Fig. 3(b)와 같은, 우량계를 사용한다[3].

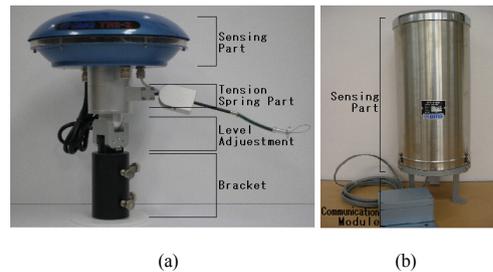


Fig. 3. Sensors' for conventional wired system [3]
(a) TRS Sensor (b) Rain gauge

3.2 기존 시스템의 설치 절차

기존 유선시스템의 설치 절차는 Fig. 4(a)와 같다. 기존 방식에서는 Fig. 4(b)~(d)와 같이, 드릴천공, 센서 설치, 통신선 및 전원선의 부설·연결 등의 작업들이 모두 산악지에서 진행된다.

3.3 기존 시스템의 문제점 및 한계

3.3.1 시공성 측면

기존 시스템의 설치장소는 급경사지, 불안정한 대지 등이므로, 작업영역 확보가 어렵고, 비효율적으로 작업이 진행될 수 있다(Fig. 4(b)~(d) 참조). 특히 현장의 범위가 넓거나, 센서 간의 간격이 멀면, 통신선 및 전원선의 길이도 비례하여 길어지게 된다. 그리고 이는 설치시간과 비용 증가의 원인이 된다.

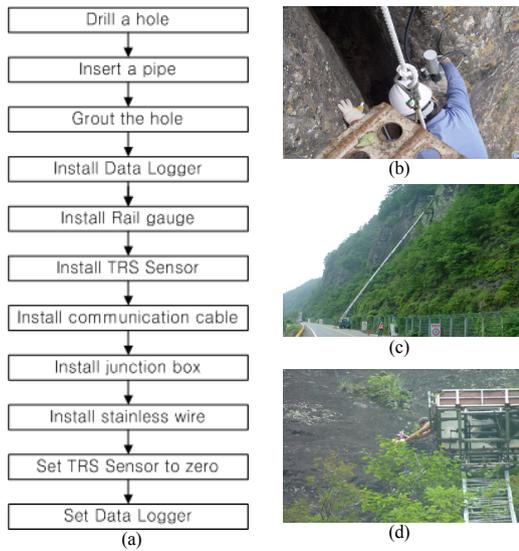


Fig. 4. Installation of conventional system
 (a) Process or installation (b) Example of installation 1
 (c) Example of installation 2 (d) Example of installation 3

한편 사면현장은 위치가 산간오지이거나, 인근에 전력시설이 갖춰지지 않은 경우가 빈번하다. 이러한 경우에는 인근 시설로부터 전력을 부설해 와야 한다. 이때, 진보대 설치, 전력선 연결 등의 비용을 모두 해당 현장에서 부담하여야 한다. 따라서 기존 시스템을 설치하기 위해서는 인프라 구축시간과 비용 추가적으로 소요되는 경우도 적지 않은 상황이다.

3.3.2 안전성 측면

건설 안전관리를 위해서는 거동이 발생할 우려가 있는 장소에서의 작업을 가급적 금하고, 안전한 작업영역을 확보하여야 한다. 그러나 사면거동 모니터링 시스템의 설치를 위하여 가설물 등을 설치하여 안전한 작업영역을 확보하는 것이 현실적으로는 매우 어렵다. 따라서 작업원들은 위험한 환경에 노출된 상태에서 작업을 수행하게 된다. 이에 작업원들이 위험한 환경에 노출되는 시간을 최소화 할 필요성이 제기되고 있다. 특히 지반거동이 우려되거나 센서 간 간격이 멀어서 작업원이 위험하면 위험할수록, 사면에서의 작업을 제거해야 할 필요성이 더욱 커지게 된다.

3.3.3 유지관리 효율성 측면

기존 시스템의 설치 이후에 발생하는 문제점은 통신선 및 전원선의 단절, 낙뢰로 인한 망붕괴, 유지보수 어려움, 전력비용 등을 들 수 있다. 우선 통신선 및 전원선의 단절이란, 시스템이 설치된 위치에서 발생하는 낙석이나 야생동물 이동으로 인한 망 손상을 의미한다. 이러한 경우에는 망이 손상된 위치의 센서만이 아니라 이에 연결된 센서들까지도 작동하지 않거나, 작동하더라도 데이터를 전송할 수 없게 된다.

낙뢰에 의한 망붕괴 현상이란, 낙뢰가 시스템 인근에 떨어질 때, 고전압의 전류가 통신선과 전원선을 통해서 흐르면서 피해를 발생시키는 것을 말한다. 기존 시스템이 설치되는 위치는 산악지이므로, 낙뢰가 발생할 가능성이 높다. 이러한 경우에 과부하로 전체 시스템의 센서나 회로가 손상되게 된다.

모니터링 대상 현장이 전국의 산악지에 퍼져있으므로, 시스템에 문제가 발생하더라도 복구팀이 즉시 대응하기 어렵고, 유지보수도 용이하지 않다. 따라서 관련 업계에서는 모니터링 네트워크 중 일부가 손상되더라도 나머지 부분은 안정적으로 작동되는 기술이 개발되기를 원하고 있다[3]. 한편 기존 시스템은 상전을 사용하므로, 전력비용이 지속적으로 소요된다. 이러한 비용도 수 년 동안 누적되면, 업체에 부담으로 작용하게 된다.

4. IoT 시스템 개발 및 테스트베드 적용

4.1 모니터링 시나리오 설정

설치된 TRS센서가 거동을 감지하면, 감지된 거동 데이터는 무선네트워크를 통해 데이터로거에 모인다. 이때, 센서노드는 태양광 등 신재생 에너지를 사용한다. 그리고 이렇게 모인 데이터는 CDMA망을 통해 통합관제센터로 전달된다.(Fig. 5 참조) 시스템은 설정을 통해 수동/자동 기능을 설정한다. 수동 기능은 관리자가 원하는 시간에 데이터를 수집하는 것이고, 자동 기능은 설정된 시간에 시스템이 자동으로 데이터를 수집하고 이상발생 시 경고음 및 문자메시지를 자동으로 보내는 것이다. 또 시스템은 관리기준치(위험 수위)를 설정할 수 있다. 관리기준치란, 경고음 및 문자 메시지 등 경고를 발하는 기준값을 의미하며, 관리자가 토질공학적인 측면을 고려하여 현장여건에 적합한 관리기준치를 입력한다.

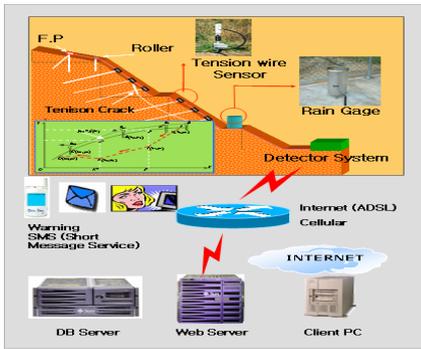


Fig. 5. Monitoring scenario of the IoT system

측정된 데이터는 현장에 있는 데이터로거에 저장되는 동시에, 위험 수위에 도달되었는지 여부를 판단한다. 그리고 위험 발생 시, 장착된 스피커를 통해 정보가 울리며 그와 동시에 휴대폰 문자메시지를 관리자 등에게 송출한다. 이는 관리자가 관리컴퓨터 인근에 있지 않아도 실시간으로 정보를 받기 위한 기능이며, 위험발생시 신속하게 처리하도록 지원한다.

4.2 시스템 개발

4.2.1 RF통신 모듈의 구성

본 연구에서는 무선통신을 위하여 우선, RF(Radio Frequency) 통신모듈을 개발하였다. 이 모듈은 RF 통신 보드, 485 통신보드 및 전원제어보드로 구성된다. RF 통신 보드는 MCU(Micro-Controller Unit)와 RF 트랜시버(transceiver)를 갖고 있어서, 소프트웨어 구동 및 시스템 제어, RF 통신 등을 담당한다. 485 통신 및 전원 제어 보드는 RF 통신 모듈의 제어를 받아 UART(범용 비동기화 송수신기: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 통신을 485 통신으로 변환하고, 전원을 RF 통신 보드와 센서 모듈에 공급한다. RF통신 모듈의 구성은 Fig. 6과 같다.

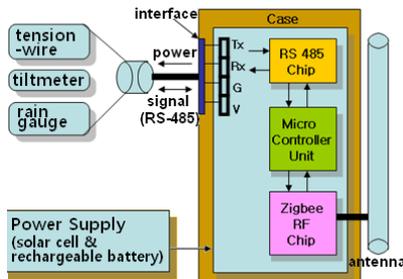


Fig. 6. Configuration of RF communication module

4.2.2 RF통신모듈 인터페이스

TTR 센서로부터 계속된 값은 485 시리얼(serial) 통신으로 수집한다. MCU는 주기적으로 센서 쪽으로 데이터 수집 명령을 전송하고, 센서는 이 명령에 대해 데이터 응답을 전송한다. MCU는 데이터 응답을 받으면, 에너지 절약을 위하여 센서의 전원을 오프(off)시키고 자신은 슬립모드(sleep mode)상태로 대기한다. 그리고 다음 전송 주기에서 깨어나 센서의 전원을 켜고(on), 동작 주기를 반복한다.

우량계 센서는 강우량이 0.5mm/h가 될 때마다 인터럽트(interrupt) 신호를 RF 통신 모듈로 전송한다. RF 통신 모듈은 인터럽트에 의해 깨어나 이 신호를 데이터 로거로 전송하고, 데이터 로거는 이 데이터를 계산하여 시간 당 강우량을 계산한다. 이러한 485 통신 인터페이스의 회로도는 Fig. 7과 같다.

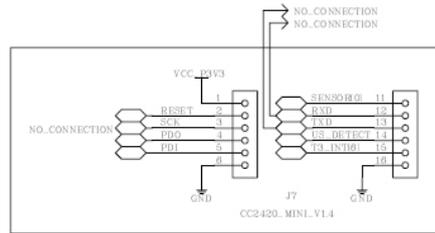


Fig. 7. Circuit diagram of 485 interface module

4.2.3 전원부

RF 통신 모듈은 485 통신 및 전원 보드로부터 전원을 공급받는다. 이 전원을 이용하여 MCU와 센서 그리고 MCU의 UART 통신 기능을 이용하는 485 통신으로 센서 데이터를 수집하고, 2개의 LED를 제어한다. 그리고 리셋핀(reset pin)에 연결된 스위치 신호를 받으면 MCU를 리셋한다. 센서의 전원은 아이들(idle) 상태에서 꺼야(off) 하는데, 이 기능은 MCU 포트의 2번 핀, 인터페이스의 12번 핀을 이용해 제어한다. 전원부의 회로도는 Fig. 8과 같다.

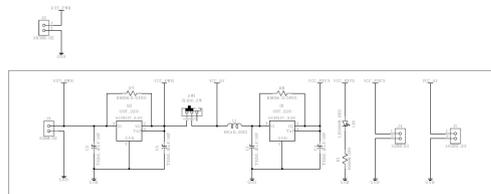


Fig. 8. Circuit diagram of power module

4.2.4 태양전지 시스템

태양전지 시스템은 솔라패널(solar panel)과 파워 컨트롤러(power controller), 축전지와 케이스로 구성된다. 솔라패널은 태양 에너지를 전기 에너지로 변환하고, 파워 컨트롤러는 변환된 전기 에너지를 축전지에 충전하거나 노드에 전원을 공급하도록 제어한다. 축전지는 전기 에너지를 충전하고 있다가, 야간, 장마 등에 솔라패널에서 더 이상 에너지가 공급되지 않을 때 노드에 전원을 공급하는 역할을 한다. 태양전지 시스템을 이용한 사면 계측 센서는 Fig. 9와 같이 구성된다.

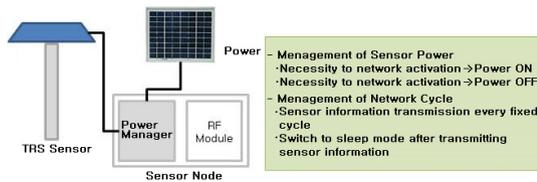


Fig. 9. Circuit diagram of power module

4.2.5 센서노드 제작

센서 RF통신 모듈은 TRS센서 내부에 Fig. 10과 같이 설치된다.

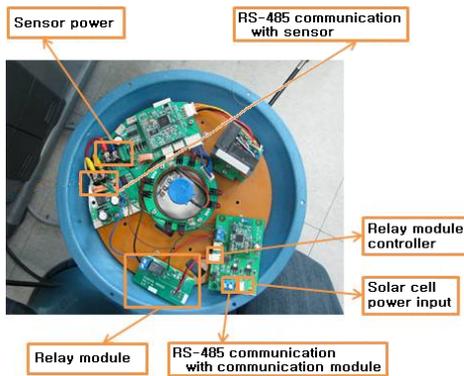


Fig. 10. Sensor node

4.3 시스템 설치

본 연구에서는 개발된 IoT기반의 산악지 모니터링 시스템의 현장적용성을 분석하기 위하여, 개발된 프로토타입 시스템을 실제 산악지의 테스트베드에 설치하였다. 이러한 현장적용성 실험의 가장 큰 목적은 센서노드와 싱크노드간의 통신 안정성, CDMA를 이용한 데이터전송 안정성 및 실제 산악지 환경에 대한 적응성 검증 등

에 있다.

시공현장은 Fig. 11 (a)와 같은 K대 내 경사지이다. 대상현장은 유선기반 모니터링 시스템이 기설치되어 있는 사면들 중에서 비교적 지반이 안정적이고 경사도가 낮아서, 접근성이 좋고 실험이 용이한 곳으로 선정하였다. 설치된 시스템은 TRS센서 8개, 우량계 1개, 센서노드 9개, 싱크노드 2대, 게이트웨이 1대(CDMA 모뎀 포함)로 구성되었으며, 상황실 시스템은 응용프로그램(application)과 CDMA모뎀이 탑재된 PC와 랩탑PC 각 1대로 구성되었다. 프로토타입 시스템의 시공 장면은 Fig. 11 (b)와 같다.



Fig. 11. Testbed site in K University
(a) On-site photo (b) System installation

5. 시스템 평가

5.1 성능

테스트베드 현장 내에서 무선네트워크를 시험한 결과, 초기 모델에 의한 센서노드와 싱크노드간 통신시 일부 데이터가 누락되거나 오류값이 전송되는 등 데이터 전송에서 오류가 발생하였다. 그 원인은, 센서노드의 전력 소모를 줄이기 위하여 센서노드가 슬립모드(sleep mode)로 전환하였다가 웨이크업(wake up)하기를 반복하는데, 기존의 TRS 센서는 이러한 모드변환을 고려하여 개발된 것이 아니기 때문인 것으로 확인되었다. 이러한 오류를 제거한 이후에는 Fig. 12에서 보여주는 바와 같이, 유선시스템과 동일한 수준으로 원활하게 데이터가 수집되었다.

5.2 시공성

5.2.1 공기 단축

기존 시스템과 개발된 시스템의 설치작업 소요시간을 분석하기 위하여, 우선 두 시스템의 설치작업 프로세스를 비교하였다(Fig 13 참조). 분석 결과, 유선 시스템과

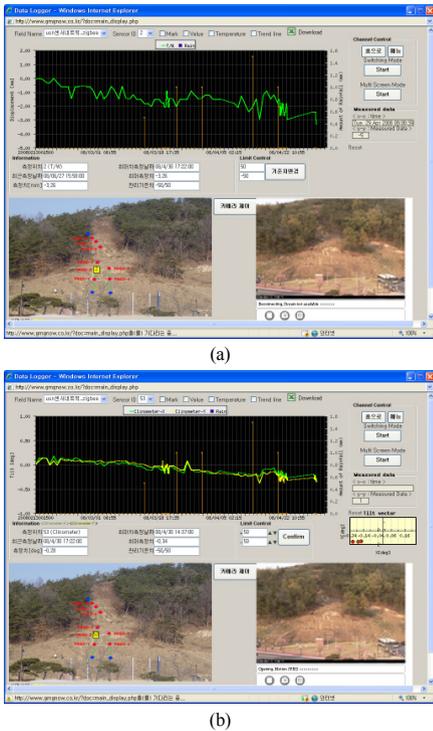


Fig. 12. The result of data collection
 (a) Data Collected by Tension-wire no. 2
 (b) Data Collected by Tiltmeter no. 51 & 52

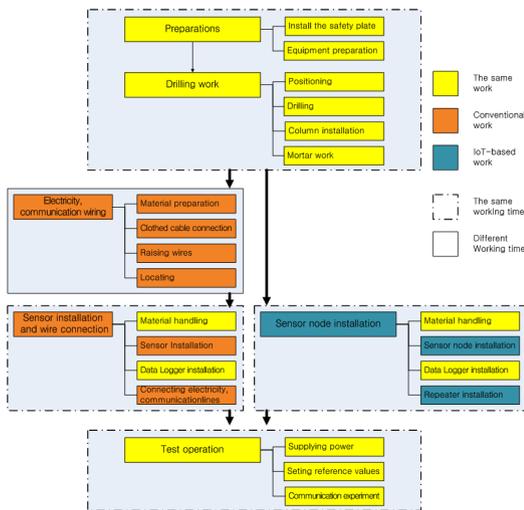


Fig. 13. Comparison of install work processes

개발된 시스템 간에 설치작업 방식이 동일한 경우와 차이가 나는 경우로 구분할 수 있고, 작업시간이 동일한 작

업군과 상이한 작업군으로 구분할 수 있었다. 작업시간은 현장작업의 타임스터디(time study)와 함께 작업원 면담을 병행하여 도출하였다.

K대 현장의 경우, 프로토타입 시스템 규모(TRS 8개, rain gauge 1개)의 센서네트워크 설치를 위하여 2일간 5명(10인일)이 투입되었다. 조사결과, 테스트베드 현장의 경우, 센서노드 구성 작업에만 약 82분이 소요되었다. 이는 기존 유선시스템 설치작업 중 센서 설치·연결 작업을 대체하는 것인데, 기존의 이 작업에는 약 105분이 소요되는 것으로 파악되었다. 개발된 시스템에서는 전원 및 통신선에 대한 물리적 연결작업이 불필요한 것이 작업시간 단축의 주요 이유인 것으로 파악되었다. 따라서 IoT기반 시스템의 노드구성은 망 연결이라는 동일공정 대비 약 21.9%의 공기절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한 케이블 피복, 케이블운반 등의 불필요한 작업까지 감안하면, 전체적으로는 약 25%의 공기단축이 이루어진 것으로 평가할 수 있다.

5.2.2 비용 절감

기존 작업방식에서 케이블 피복, 케이블운반 등의 작업에는 약 230만원이 소요된다. 따라서 개발된 시스템에서는 이와 같은 비용이 절감된다. 반면에 개발된 시스템에서는 12개의 센서노드, 2개의 라우터, 1개의 싱크노드, 14개의 태양전지가 추가되는데, 이 비용은 약 370만원이었다. 따라서 개발된 시스템을 설치하는 데에, 140만원의 추가비용이 소요되는 것으로 파악되었다. 다만, 시스템 개발자 면담 결과, 1천개 이상을 양산하면 10여개를 생산할 때의 30~60% 수준으로 가격이 낮아진다고 하였다. 다시 말하면, 개발된 시스템이 대량으로 양산될 경우에 추가비용은 370만원이 아닌, 111만원~222만원 수준일 것으로 예상된다. 이럴 경우, 개발된 시스템은 119만원~8만원 수준으로 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 25% 공기단축으로, 기존 시스템은 4일이 소요되는 작업을 3일만에 끝낼 수 있으므로, 대규모 현장에서는 해당 인건비 절감도 기대할 수 있다. 추가적으로, 태양광전지를 사용하므로, 인근 시설로부터 전력을 끌어와야 하는 현장의 경우에는 전력선 부설비용도 추가적으로 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

5.3 안전성

작업원의 안전도는 계량화하기 어렵다. 그러나 전술

한 바와 같이, 산악지 모니터링 시스템은 거동이 예상되거나 붕괴우려가 있을 경우에 설치되므로, 이러한 현장에서 작업원이 작업하는 것 자체가 위험에 노출되는 것이다. 따라서 작업원이 불안정한 사면에서 수행해야 하는 작업시간을 줄이는 것만으로도 작업원의 안전도 향상에 기여할 수 있다.

개발된 시스템의 설치 프로세스에서는 사면현장 작업들 중 피복케이블의 현장운반 작업과 전기·통신선 배선 작업을 제거하였다(Fig 13 참조). 이들 작업은 작업원들이 직접 중량의 금속선을 소지하고 경사지를 반복적으로 오르내려야 하므로, 우선적으로 제거하거나 최소화 시킬 위험작업이라 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 작업을 제거함으로써, 작업원들이 위험한 사면현장에서 작업해야 하는 시간을 크게 감소시키고, 안전도를 향상시킨 것으로 판단된다.

5.4 유지관리 효율성

본 연구는 개발된 시스템을 K대의 테스트베드에 적용한 사례를 분석한 것이므로, 지속적인 유지관리를 통하여 운영 및 유지관리 비용 데이터가 수집되지 못하였다. 따라서 유지관리비용을 정확하게 산출하여 비교분석하는 것이 용이하지 않았다. 다만 전원선과 신호선이 불필요하므로, 산악지에서 서식하는 동물들의 이동으로 인한 전원선 및 신호선의 단절 가능성은 제거되는 것으로 평가할 수 있다. 또한 전원선과 신호선이 불필요하므로, 낙뢰로 인한 피해가 망 전체로 퍼지는 현상도 적어진다. 측면에서 유지관리에 유리할 것이라고 관련 실무자들이 평가하였다. 그리고 주변 환경의 영향이나 노드 고장으로 인하여 망의 일부가 손상되더라도 무선네트워크를 통하여 망의 다른 부분은 정상적으로 작동되고, 이 정상 작동 부분으로 최소한의 모니터링은 수행될 것으로 기대되었다. 마지막으로 태양광을 전원으로 사용하므로, 전력비용이 절감될 것으로 예상된다.

6. 결론

본 연구의 목표는 기존의 유선기반 산악지 모니터링 시스템을 개선하여, IoT기술이 적용된 산악지 실시간 모니터링시스템을 구축하고, 현장 적용성을 평가하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 첫째, 기존 산악지 시설

물 현황과 모니터링 현황을 조사·분석하고, 기존 유선 모니터링 기술을 분석하였다. 둘째, IoT기반 모니터링을 위한 시나리오를 개발하고, 이에 적합한 RF통신모듈과 RF통신모듈 인터페이스, 전원부, 태양전지 등 센서노드를 개발하였다. 셋째, K대 현장에 테스트베드를 구축하고, 이에 대해서 현장적용성 실험을 수행하였다. 그 결과 초기 무선통신의 오류를 보완한 이후에는 유선시스템과 동일하게 데이터가 수집되는 것으로 나타났다. 넷째, 개발된 시스템을 활용하면, 약 25%의 공기단축과 약 119~8만원 수준의 비용절감이 가능할 것으로 예상된다. 다섯째, 피복케이블 운반과 같이 위험한 작업환경인 사면현장에서 수행해야 하는 작업들 중 일부를 제거함으로써, 작업원의 안전도를 크게 향상시킬 수 있다. 여섯째, 망손상이나 붕괴 가능성이 감소하고 전력비가 불필요하다는 측면에서 유지관리에 보다 효율적일 것으로 기대된다.

본 연구에서는 기존 유선기반의 시스템에서 사용한 센서를 사용하였으므로, 센서가 IoT 시스템에 최적화되지 못하였다는 한계를 갖는다. 또한 원활한 실험을 위하여 센서노드의 수를 최소화하였으며, 테스트베드 현장도 안정된 곳으로 선택하였다. 따라서 열악한 환경에서 다수의 센서들이 네트워크를 구성하지 못하였다는 점도 한계로 지적된다. 이러한 한계점은 추가적인 연구를 통해 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

References

- [1] K. T. Kim, Y. H. Jun, "Deriving the construction and maintenance issues and improve direction of monorail for mountain tourism", *Proc. of KICEM Annual Conference*, vol. 16, pp. 125-126 Nov. 2016.
- [2] S. J. Pyun, H. H. Chin, Y. H. Jung, J. S. Lim. *Internet of Things*. p.1-264, Miraebok Publishing Co, 2014.
- [3] K. T. Kim, J. G. Han, "Development and Implementation of a Slope Monitoring System Using USN Technology and TRS Sensors", *Proc. of the 11th Symposium on Construction Robotics In Japan*, vol. 11, pp. 47-53 Sep. 2008.
- [4] H. J. Han. 'Jeju Shilla Hotel' followed by negative news such as MERS and cliff collapse [Internet]. Seoul Korea: Pressian, c2016 [cited 2015 July 02]. Available From: <http://www.pressian.com/news/article.html?no=127778>. (accessed Nov., 23, 2016)
- [5] S. R. Lee. 'Shirley Hill' collapse, due to the construction of Jeju Silla in close proximity to the cliff [Internet]. Seoul Korea: Pressian, c2016 [cited 2015

- July 13], Available From:
<http://www.pressian.com/news/article.html?no=128073>.
(accessed Nov., 23, 2016)
- [6] Yonhapnews, Eco-friendly electric monorail for Halla mountain tourism 'feel like a great hit'[Internet]. Seoul Korea: Yonhapnews, c2016[cited 2016 August 09], Available From:
<http://v.media.daum.net/v/20160809060206957>. (accessed Nov., 23, 2016)
- [7] K. T. Kim, Y. H. Jun, "Monitoring plan of the monorail strut behavior based on IoT", *Proc. of KICEM Annual Conference*, vol. 16, pp. 241-242 Nov. 2016.
- [8] S. H. Kim, Pore water pressure characteristic of unsaturated weathered granite soil slopes through rainfall simulation, *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 10, no. 11, pp. 3287-3295, 2009.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.11.3287>
- [9] National Institute for Disaster Prevention, *A Study on Detection and Observation of Slope Failure(I)*, National Emergency Management Agency, pp.1-124, 2004.
- [10] G. T. Jang, K. S. Chung, S. H. Kim, K. J. Park, W. H. Lee, K. T. KIM, C. K. Kang, S. J. Hong, Real-Time Monitoring and Warning System for Slope Movements Using FBG Sensor, *Proc. of KGC National Conference/committee of Slope Stability*, pp. 60-76, Nov. 2000.
- [11] J. G Han, K. T. Kim, Development of a Prototype System for Slope Failure Monitoring Based on USN Technology, *Proc. of KICEM Annual Conference*, vol. 7, pp. 316-321, Nov. 2007.

김 균 태(Kim-Kyoon Tai)

[중신회원]



- 1995년 2월 : 경희대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1995년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 건설시스템연구센터 연구위원
- 2006년 6월 ~ 현재 : 한국건설VE연구원 이사

<관심분야>

건설관리, 건축시공, 건설자동화