무선센서 네트워크에 의한 지하 통신구 터널 모니터링 연구
Cable Tunnel Monitoring System by Wireless Sensor Network

김형우* · 문태균**
Kim, Hyung Woo · Moon, Tae Gyun

Abstract

In this study, we deployed the cable tunnel inspection and monitoring system by wireless sensor network. It is shown that the wireless sensor network which is composed of sensor, wireless communication module, and gateway can be applied to cable tunnel monitoring system. Sensors considered herein are flame detection sensor, flood detection sensor, intruder detection sensor, and temperature sensor, etc. It is also found that the wireless sensor network can deliver sensing data reliably by wireless sensing technology. The gateway system that can transmit sensed data to server by CDMA is developed. Monitoring system is constructed by web service technology, and it is observed that this system can monitor the present state of tunnel without difficulties. The system provides an alternative to inspecting and monitoring the tunnel efficiently where the conventional wired system is infeasible.

key words : structure health monitoring; wireless sensor network; tunnel inspection, cable tunnel

1. 서 론

구조물의 상태 모니터링(Structural Health Monitoring) 분야에 정보통신기술을 적용하고자 하는 시도가 최근 활발히 진행되고 있다. 이 가운데 무선센서 네트워크에 의해 구조물의 상태를 항상 감시하는 시스템도 개발되어 일부 분야에 적용되고 있다. 무선 기반의 모니터링 시스템은 센서의 설치 및 유지보수가 용이하며 설치비용이 저렴하고 많은 수의 센서 설치로 광범위한 모니터링을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 지하 터널 일종인 통신구의 경제적이고 효율적인 관리 및 운용을 위하여 무선센서 네트워크를 이용한 통신구 모니터링 시스템을 개발하였다. 모니터링 항목으로서 화재, 침수, 온도, 외부 출입자 보안을 선정하였으며 이들 감지에 적합한 센서의 요구사항에 대하여 기술하였다. 시스템을 구성하고 있는 센서노드, 게이트웨이 및 서버 시스템에 대한 기술사항을 간략히 소개하였으며 무선센서 네트워크 아키텍처를 트리(tree) 구조와 스타(star) 구조의 두 가지로 구분하여 서로 다른 2개의 지하 통신구에 구축한 후 각각의 특징을 살펴보았다. 구축 후 운용 결과 열악한 지하 환경에서도 센서에서 취득한 데이터가 무선으로 서버로 전송되어 인터넷을 통하여 모니터링이 가능하다는 사실을 확인할 수 있었다. 본 논문은 최근 토목건축 분야에 적극적으로 도입이 검토되고 있는 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 실제 통신구 현장에 적용한 것으로서 향후 지하 터널의 계측관리에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 현행 통신구 모니터링 시스템

통신구는 케이블을 포설하기 위하여 지사(점) 상호간 또는 지사(점) 등의 관로 사이에 시설된 길이 4m 이상의 지하도 및 관로 사이에 시설된 길이 10m 이상의 지하공간을 말하며 유지관리방법에 따라 유인통신구

* 정회원 · KT미래기술연구소 연구전문그룹 수석연구원
** KT인프라연구소 FTTH & u-City 개발담당 전임연구원

및 무인통신구로 구분된다(KT, 2003). 또한, 통신구는 건설방식에 따라 개착식 박스형 및 터널형으로 구분되며 광케이블을 비롯한 많은 주요 케이블이 수용되어 있는 중요 구조물이다. 통신구를 비롯한 전력구 및 공동구와 같은 지하구는 특성 상 인력에 의한 육안점검을 자주 수행할 수 없고 화재 발생 시 각종 유독가스 발생 및 좁은 통로로 인하여 화재의 초기진압이 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서, 현행 법규에는 폭 1.8m, 높이 2.2m 그리고 연장 500m 이상의 지하구에 자동화재탐지설비를 의무적으로 설치하여야 한다고 규정되어 있으며(행정자치부고시, 2004), 실제로 광케이블을 비롯한 중요 통신케이블을 다량 수용하고 있는 통신구에는 자동화재탐지설비를 포함한 통신구 감시 시스템이 설치되어 현재 운용 중에 있다. 이 시스템은 통신구의 효율적 관리를 위하여 통신구 내에서 발생될 수 있는 각종 재난의 조기 감지 및 통신구 내 설비의 원격제어 등 통신구 관리업무를 실시간으로 감시하는 기능을 수행한다. 연기, 일산화탄소, 온도, 습도, 케이블 온도, 산소, 가연성 가스를 측정할 수 있는 각종 센서들에 의해 화재 발생 여부를 감지할 수 있으며 사람의 움직임 또는 출입문 개폐 감지를 통하여 통신구 내부의 보안 상태를 점검할 수 있다. 또한, 원격으로 양수기 및 환풍기를 제어할 수 있다. 이와 같은 시스템에 의해 통신구 내부에 화재 또는 침수와 같은 대형 재난이 발생하더라도 이를 조기에 감지함으로써 신속한 대처가 가능하다.

3. 무선센서 네트워크에 의한 통신구 모니터링 시스템 설계

3.1 모니터링 시스템 개념

통신구는 지하에 건설되어 있는 터널로서 다수의 센서가 요구되며 구조물의 상태에 따라 향후 센서가 추가될 가능성이 높은 현장이다. 따라서 적용할 시스템은 통신이 열악한 지하 환경에서도 무선시스템을 구성할 수 있어야 하며 데이터의 호환성이 우수하여 여러 시스템과 용이하게 결합할 수 있어야 한다. 구현할 모니터링 시스템은 센서의 종류, 사양, 성능 요구조건에 관계없이 어떠한 센서를 사용해도 무방해야 한다. 센서 네트워크와의 효율적 통신을 위해서 유선과 무선이 서로 연결 가능해야 하며 통신의 중심역할을 담당하는 베이스스테이션이 설치되어야 한다. 측정된 데이터가 임계치에 도달하거나 초과하였을 때에는 경보가 울리도록 설계되어야 하며 이와 같은 경보 서비스의 구현은 화재와 같은 재해 모니터링에 있어서 매우 중요하다. 이러한 경보 서비스를 위해서 일반적으로 각 센서 별로 임계치가 미리 설정되어 있어야 하며 실시간 지능형 소프트웨어가 필요하다. 각각의 서로 다른 센서로부터 수집된 데이터 자체만으로는 어떠한 의미도 없기 때문에 데이터를 가공 처리하여 의미 있는 데이터로 만드는 것이 중요하다.

3.2 무선센서 네트워크 기본원리

무선센서 네트워크는 크게 무선센서노드와 게이트웨이 그리고 서버시스템으로 구성된다. 무선센서노드는 센서로부터 수집된 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환하고 이를 컴퓨터가 읽을 수 있도록 공학적 수치로 변화시키며 게이트웨이까지 전송하는 역할을 수행한다. 게이트웨이는 정기적으로 센서노드와 통신을 주고받음으로써 데이터를 수집하고 이를 기록하는 역할을 담당한다. 일반적인 무선통신 방식에 의한 계측시스템과 달리 무선센서 네트워크는 센서와 센서끼리 서로 통신을 할 수 있는데, 전통적인 무선통신에 의한 계측시스템은 각각의 센서에 의한 데이터 값이 한 곳의 베이스스테이션으로 집중 전송되는데 반하여 무선센서 네트워크는 각각의 센서끼리 서로 통신을 하면서 데이터를 주고받을 수 있다. 따라서 통신기능이 있는 센서를 추가로 설치하는 것이 용이하며 이들을 조밀하게 배치한다면 보다 넓은 지역을 자세히 계측할 수 있는 장점이 있다. 또한 지형지물에 의해 통신에 지장이 발생하는 경우 다중호핑 릴레이(multiple-hopping relay) 기술에 의해 우회하여 다른 센서모듈로 자동적으로 경로가 바뀌기 때문에 계측에 지장을 초래하지 않는다. 하지만, 무선센서 네트워크는 다른 무선 네트워크와 달리 무선센서 노드에서의 전력소비, 그리고 통신거리 및 계산 성능에 대한 한계가 있음을 고려해야 한다.

3.3 무선센서 네트워크 설계

무선센서노드는 크게 센서부, 통신부 및 전원으로 구성하였으며 본 통신구의 통신환경이 매우 열악하여 출력이 비교적 높은 통신모뎀을 사용하였다. 게이트웨이는 무선센서 네트워크를 인터넷에 접속시켜 주는 스

위치이며 무선센서노드의 포멧을 TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol)의 패킷으로 캡슐화하며 변환하는 역할을 수행한다. 본 연구에서는 CDMA 모듈에 의해 무선센서노드와 통신하도록 설계하였으며 무선센서노드가 보낸 패킷을 분석하며 응답하는 기능을 수행한다. 계측 데이터 및 감지시각은 원거리 사용자가 검색 및 분석을 수행할 수 있도록 데이터베이스에 저장된다. 서버시스템의 플랫폼은 데이터베이스에 접속하여 데이터를 그래프의 형태로 보여줄 수 있도록 그래픽 유저 인터페이스를 제공할 수 있도록 설계하였다.

4. 무선센서 네트워크에 의한 통신구 감시 시스템 구현

4.1 A 통신구

A 통신구는 길이가 180m이며 지표면으로부터 약 10m 깊이에 건설되어 있는 개착식박스형 철근콘크리트 구조물이다. 폭이 비좁고 길이가 긴 구조적 특성을 지니고 있으며 각종 지하매설물로 인하여 통신구 노선의 고저차가 심하고 좌우로 꺾여 있기 때문에 통신에 불리한 환경을 지니고 있다. 따라서 센싱노드의 전파를 멀리 떨어진 게이트웨이까지 전달하기 위하여 중간에 여러 개의 릴레이노드를 설치하였다. 센서로는 화재감시를 위한 불꽃감지센서, 침수감지를 위한 수위센서, 출입문 개폐여부를 감시하기 위한 자석식 접촉센서, 그리고 통신구 내부의 진동을 감지하기 위한 진동센서를 적용하였다. 그림 1에 A 통신구 모니터링 시스템의 개요도를 제시하였다.

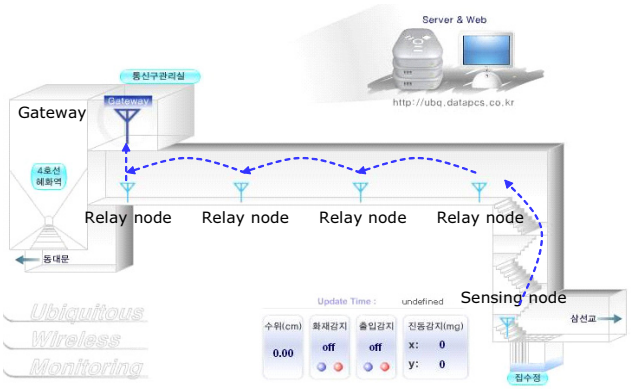


그림 1. A 통신구 모니터링 시스템 개요도

4.2 B 통신구

B 통신구는 길이가 100m 이내이며 지표면으로부터 약 3m 깊이에 건설되어 있는 개착식박스형 철근콘크리트 구조물이다. 센서로는 화재감시를 위한 불꽃감지센서, 통신구 내의 온도를 측정하기 위한 온도센서, 출입문 개폐여부를 감시하기 위한 자석식 접촉센서, 그리고 통신구 내부의 진동을 감지하기 위한 진동센서를 적용하였다. A 통신구와 달리 B 통신구에서는 센서노드와 게이트웨이 사이의 거리가 짧아서 근거리 무선통신이 가능한 것으로 파악되었으며 따라서 센싱노드와 게이트웨이를 일대일로 대응시켜 모니터링하는 스타 네트워크(star network)의 토폴로지를 적용하였다. 그림 2에 B 통신구 모니터링 시스템의 개요도를 제시하였다.

5. 결과분석

A 통신구 모니터링 설치 후 약 6개월 이상 운용하였으며 운용 결과 각 센서에서 획득된 데이터가 무선센서 네트워크에 의하여 중앙의 서버까지 잘 전송되는 것을 확인하였다. 그림 3(a)는 통신구 내부의 집수정에 설치된 수위센서에서 수집된 수위 그래프로서 최소 62cm와 최대 135.cm의 높이에서 수위가 변동하는 것을 알 수 있다. 즉, 수위가 135cm에 이르게 되면 집수정 내부에 설치된 양수펌프가 작동하며 대략 8분간 작동한

후 수위가 62cm가 될 때 가동이 멈추는 것을 알 수 있다. 그리고 통신구 집수정에 다시 지하수가 유입되어 양수펌프가 작동할 때까지는 약 3시간이 소요됨을 알 수 있다. 따라서 집수정의 용적을 알면 통신구 내부로 유입되는 지하수의 시간당 유입량도 추정할 수 있다. 그림 3(b)는 통신구 출입문의 개폐 이벤트를 나타내는 그래프이며 문이 열리거나 닫힐 때의 값을 1로 표기해준다. 따라서 그래프로부터 사람이 통신구 내부로 들어온 시각 및 나간 시각을 각각 확인할 수 있다.

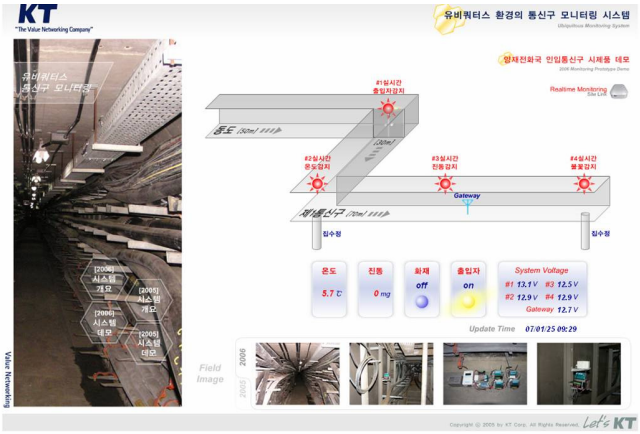
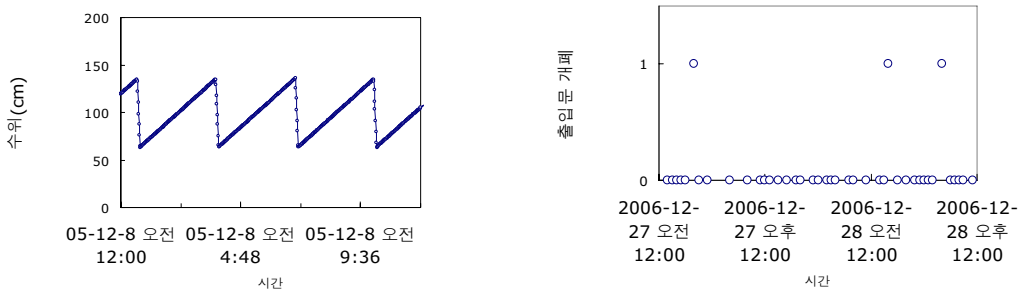


그림 2. B 통신구 모니터링 시스템 개요도



(a) (b)

그림 3. 통신구 모니터링 결과: (a) 집수정 수위변화 그래프; (b) 출입문 개폐 이벤트 그래프

6. 결 론

정보통신기술의 발전에 따라 구조물 상태 모니터링과 같은 시스템을 무선센서 네트워크에 의해 구축해보고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 여러 가지 센서를 조밀하게 배치하여 구조물의 전체적인 거동을 분석할 수 있으며 계측장비를 간단히 구축할 수 있다는 장점 때문에 무선센서 네트워크를 적극적으로 도입하고 있지만 이러한 무선센서 네트워크에 의한 계측을 위해서는 센싱노드와 게이트웨이의 전원문제가 해결되어야 하며 모니터링 대상물에 알맞은 관리기준치의 개발이 이루어져야 한다. 또한, 모니터링의 지능화를 통해 데이터의 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다. 지금까지 지하통신구 터널에 대한 무선센서 네트워크 모니터링 기술에 대하여 살펴보았으며 보다 많은 연구가 이루어진다면 향후 터널방재 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. KT, 설계기준(통신토목시설), 2003.10.
2. 행정자치부고시 제2004-20호.