

# 무선센서 네트워크에 의한 통신구 모니터링 시스템 개발

## Cable tunnel monitoring system by wireless sensor network

김형우\*  
(Hyung-Woo Kim)

**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 inspect and monitor the tunnel efficiently where the conventional wired system is infeasible.

**Keywords:** structure health monitoring; wireless sensor network; tunnel inspection, cable tunnel

### I. 서론

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 살펴 보았다. 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.

### II. 통신구 모니터링 시스템

2006년 현재 KT는 전국에 약 430km 길이의 통신구를 보유하고 있다. 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 지하 공간을 말하며 유지관리방법에 따라 유인통신구 및 무인통신구로 구분된다[1]. 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[2], 실제로 광케이블을 비롯한 중요 통신케이블을 다량 수용하고 있는 통신구에는 1994년 이후 자동화재탐지설비를 포함한 통신구 감시 시스템(CATMS, Cable Tunnel Monitoring and Management System)이 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 보안상태를 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. 그림 1에 현재 통신구에 설치 운용 중인 통신구 감시 시스템의 사진을 제시하였다.



\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2007. 8. 13, 채택확정: 2007. 8. 20

김형우: KT 미래기술연구소 연구전문그룹

(hyungwoo@kt.co.kr)

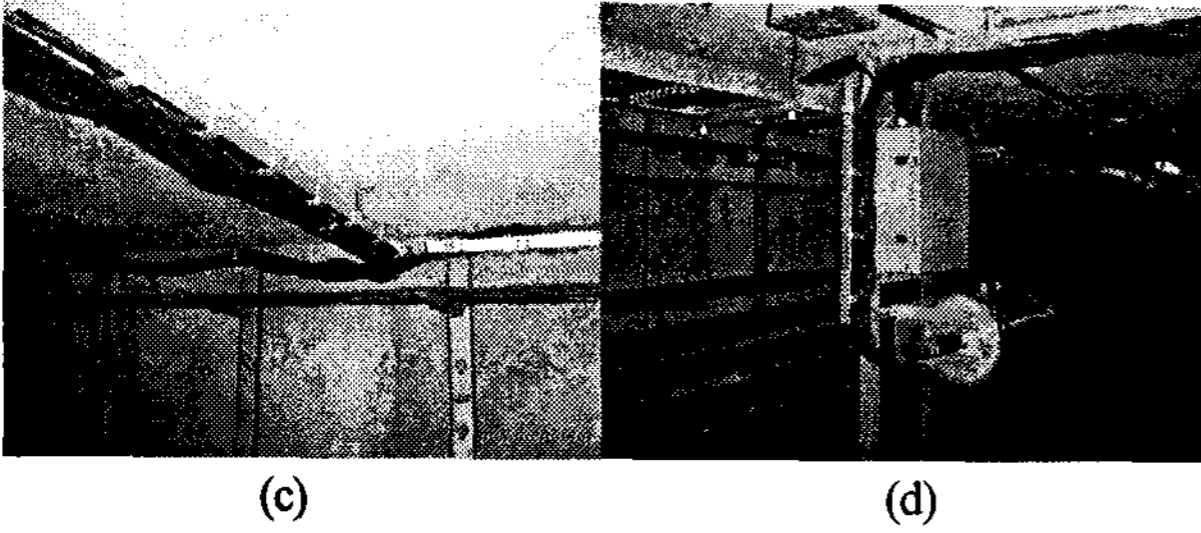


그림 1. 현행 통신구 감시 시스템: (a) 화염감지센서; (b) 수위 감지센서; (c) 센서 케이블; (d) AUX (메인 프로세서, 제어장치, 데이터 처리장치 및 통신 모뎀 등으로 구성)

전통적 개념의 모니터링 또는 계측 시스템은 유선을 기반으로 하고 있으며 이러한 방식은 안정된 계측을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 반면, 연약지반과 같이 변위가 지속적으로 발생하거나 중장비 차량통행이 빈번하여 케이블 단선이 우려되는 특수한 장소에서는 센서를 설치하는 것이 불가능하며 통신과 전력시설이 갖추어져 있지 않은 산간벽지 등과 같은 곳은 케이블을 설치하는 데에 많은 비용이 든다는 단점이 있다. 또한, 유지보수가 쉽지 않으며 외부환경에 의한 간섭에 의해 측정값에 오류가 발생할 가능성이 있다. 유선을 기반으로 한 현행 통신구 감시 시스템의 경우에도 각종 센서에 통신 및 전력케이블이 연결되어 있기 때문에 통신구의 길이가 길어질수록 케이블의 설치비용이 선형적으로 증가한다는 단점이 있는 것으로 파악되었다. 실제로 그림 1(c)에 나타난 바와 같이 각종 센서에 연결된 전원공급 케이블 및 다수의 데이터 케이블이 통신구 벽면을 따라 설치되어 있다. 한편, 그림 1(d)는 계측된 데이터를 처리하고 원거리로 전송하는 장치를 나타낸 것인데 통신구 내부의 먼지와 습기에 의하여 고장이 발생하고 있으며 이것이 감시 시스템의 오동작 원인 가운데 하나인 것으로 파악되었다. 따라서, 케이블 설치비용을 줄이며 센서의 설치 및 유지보수가 용이한 무선기반의 통신구 감시 시스템을 개발하게 되었다.

### III. 무선센서 네트워크에 의한 통신구 모니터링 시스템 설계

#### 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 관계 없이 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 정보 서비스를 위해서 일반적으로 각 센서 별로 임계치가 미리 설정되어 있어야 하며 실시간 지능형 소프트웨어가 필요하다. 각각의 서로 다른 센서로부터 수집된 데이터 자체 만으로는 어떠한

의미도 없기 때문에 데이터를 가공 처리하여 의미 있는 데이터로 만드는 것이 중요하다. 그리고 센서에 의해 측정된 데이터는 데이터 스트리밍(data streaming)을 위해 TML (Transducer Markup Language)과 같은 표준으로 처리, 전송, 저장되는 것이 바람직하다. 그림 2에 이와 같은 모니터링 시스템 개념을 3가지 계층(센서, 서비스, 사용자)의 프레임워크로 나타내었다[3].

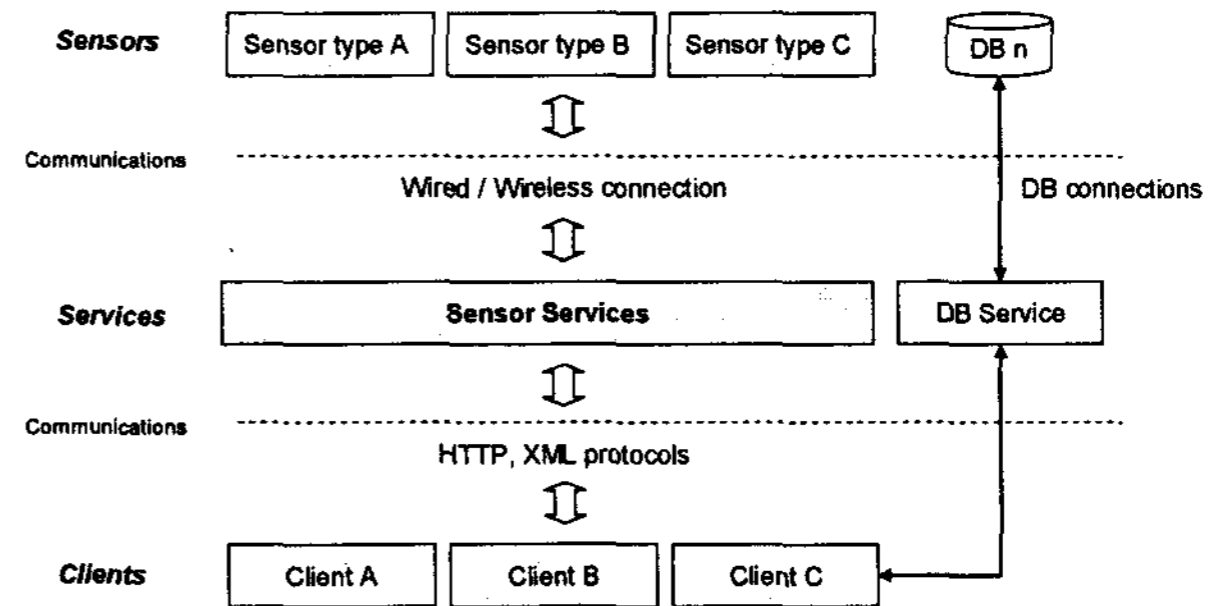


그림 2. 모니터링 시스템 프레임워크

#### 2. 무선센서 네트워크 기본원리

무선센서 네트워크는 그림 3에 제시되어 있는 바와같이 크게 무선센서노드와 게이트웨이 그리고 서버시스템으로 구성된다.

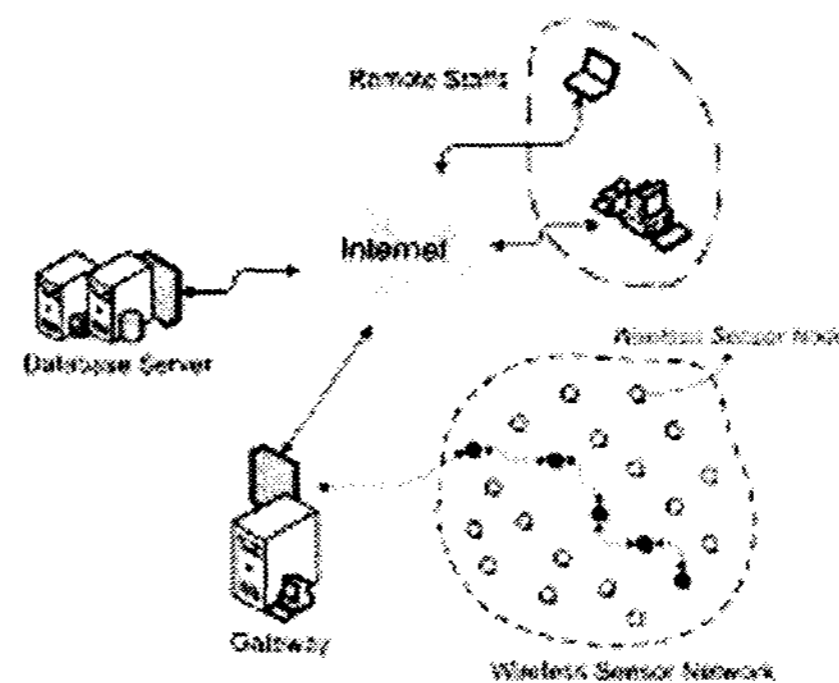


그림 3. 무선센서 네트워크에 의한 아키텍처[4]

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 주고받는다. 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 우회하여 다른 센서모듈로 자동적으로 경로가 바뀌기 때문에 계측에 지장을 초래하지 않는다. 이를 무선 애드혹 네트

워크(ad-hoc network)라고 하며 이를 구현하기 위하여 다중호핑 릴레이(multiple-hopping relay) 기술을 사용한다. 하지만, 무선센서 네트워크는 다른 무선 네트워크와 달리 무선센서 노드에서의 전력소비, 그리고 통신거리 및 계산성능에 대한 한계가 있음을 고려해야 한다.

3. 무선센서 네트워크 설계

**무선센서노드:** 무선센서노드는 크게 센서부, 통신부 및 전원으로 구성하였으며 통신부는 ember의 지그비(ZigBee) 칩을 사용한 누리텔레콤의 통신모뎀을 사용하였다. 일반적으로 지하에 건설되어 있는 통신구는 경로가 상하좌우로 굽어 있어서 통신환경이 매우 열악한 특징을 지니고 있다. 따라서, 출력세기가 큰 통신모뎀을 사용하였으며 특히, 내장된 ember의 지그비 칩은 무선 네트워크를 위한 칩 고유의 기능뿐만 아니라 on-demand 방식의 라우팅을 수행할 수 있는 기능이 탑재되어 있어 특별한 센서 네트워크의 운영체제 도움 없이도 다중 호핑 메쉬 네트워크(multiple-hopping mesh network)를 구현할 수 있는 장점이 있다. 통신모뎀의 주요사양을 표 1에 제시하였다.

표 1. 통신모뎀 주요사양

항목	사양
크기	113mm(L) x 68mm(H) x 70mm(W)
안테나 커넥터	4dBi dipole type
모뎀 인터페이스	DB9 (RS232C)
최대 RF 출력파워	Max +14dbm (25mW)
전원소비	수신모드: 50mA 송신모드: 190mA 슬립모드: 35µA

**게이트웨이:** 게이트웨이는 무선센서 네트워크를 인터넷에 접속시켜 주는 스위치이며 무선센서노드의 포맷을 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.

**서버시스템:** 서버시스템의 플랫폼은 데이터베이스에 접속하여 데이터를 그래프의 형태로 보여줄 수 있도록 GUI를 제공한다.

**라우팅 프로토콜:** 지그비 라우팅 프로토콜은 기본적으로 AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector)에 기반을 둔 것이지만, table-driven 방식의 단점을 보완하기 위하여 트리(tree)구조의 계층구성을 이용한 어드레싱을 한다. 즉, 네트워크를 클러스터 트리(clustered tree) 형태로 가정하고, 각 단말에 어드레스를 할당할 때, 트리 구조 아래에 위치하는 하위 단말(child)들은 위에 위치하는 상위 단말(parent)의 어드레스와 일정한 관계를 가지는 규칙을 정의함으로써 라우팅 시 불필요한 브로드캐스팅을 줄이고, 필요한 테이블의 크기를 줄임으로써 기존 on-demand 방식을 개선한 것이다.

IV. 무선센서 네트워크에 의한 통신구 감시 시스템 구현

무선센서 네트워크를 이용하여 통신구 감시 시스템을 개발하였으며 개발한 시스템의 현장적용성을 파악하기 위하여 두 개의 통신구 현장에 시범적으로 설치 운용하였다.

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 전 파를 멀리 떨어진 게이트웨이까지 전달하기 위하여 중간에 여러 개의 릴레이노드를 설치하였다. 센서로는 화재감시를 위한 불꽃감지센서, 침수감지를 위한 수위센서, 출입문 개폐여부를 감지하기 위한 자석식 접촉센서, 그리고 통신구 내부의 진동을 감지하기 위한 진동센서를 적용하였다. 무선통신 모뎀은 도심지역에서 커버리지가 50~100m 인 제품이지만 지하터널에서는 1 홉의 도달거리가 약 25~30m로 감소하여 통신상태가 다소 불량해짐을 확인할 수 있었으며 자동 릴레이를 이용한 다중호핑 통신기능의 신뢰성이 매우 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 현장실험을 통해 시스템 구성에 필요한 최적 노드 개수 및 이격거리를 산정하였으며, 또한 중간에 있는 릴레이노드가 통신불능 상태가 되어도 자동적으로 네트워킹이 이루어지도록 설계하였다. 불꽃감지센서 및 수위 센서는 데이터를 1분 간격으로 센싱하며 이를 10분 간격으로 이웃 릴레이노드에 전송하도록 설계하였다. 그리고 센싱된 데이터는 미리 설정된 임계값과의 비교를 거친 후 임계값을 초과하면 경보가 울리도록 하였다. 그림 4에 A 통신구 모니터링 시스템의 개요도를 제시하였으며 그림 5에 센싱노드 및 릴레이노드 설치사진을 제시하였다.

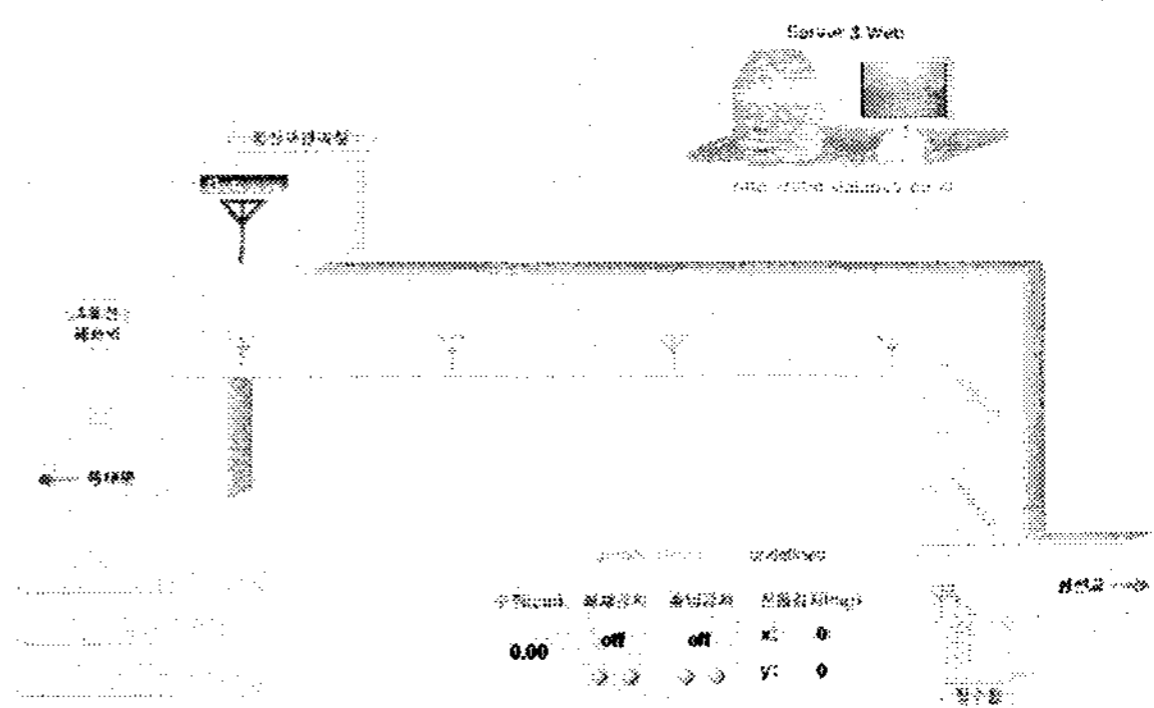


그림 4. A 통신구 모니터링 시스템 개요도

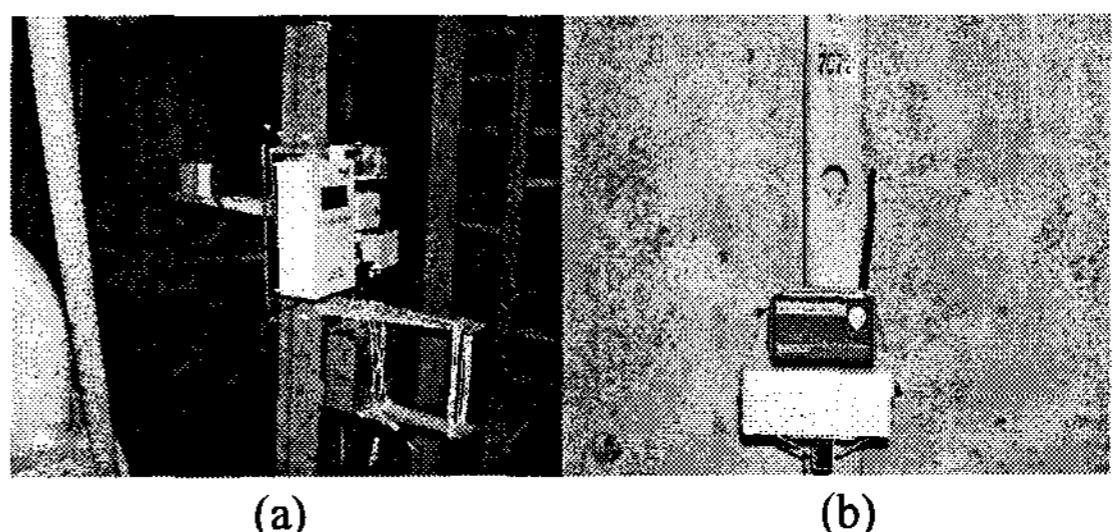


그림 5. 무선센서노드 설치전경: (a) 센싱노드; (b) 릴레이노드

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 개폐 여부를 감지하기 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. 특히, 저전력 무선 네트워크를 구현하기 위하여 센서노드와 게이트웨이는 킷을 패킷을 주기적으로 교환하도록 하였으며 이를 통하여 시간을 서로 일치(time synchronization) 시켰다. 패킷 교환에 의해 게이트웨이와 센싱노드 사이에 시간이 일치된 순간 데이터를 게이트웨이에 전송하게 하고 데이터 전송 후 슬립모드로 전환하도록 설계하였다. 불꽃감지센서와 온도센서는 데이터를 항상 센싱하며 이를 30분 간격으로 게이트웨이에 전송하도록 하였으며 센싱된 데이터는 데이터로거에서 디지털로 변환되어 미리 설정된 임계값과의 비교를 거친 후 임계값 이상인 경우 경보가 울리도록 설계하였다. 그림 6에 B 통신구 모니터링 시스템 개요도를 제시하였으며 그림 7에 불꽃감지 센서노드 및 출입자감지 센서노드 설치사진을 제시하였다.

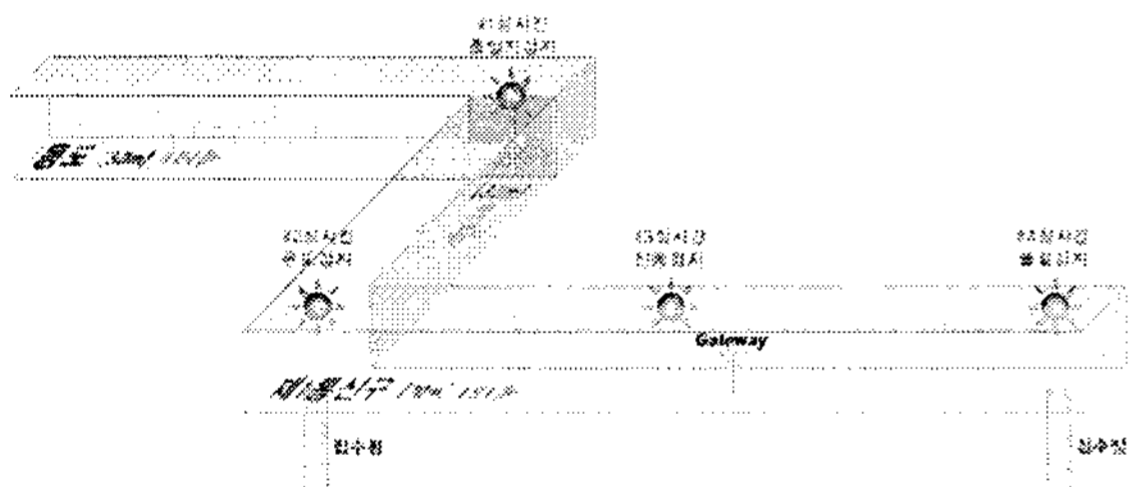


그림 6. B 통신구 모니터링 시스템 개요도



(a) (b)

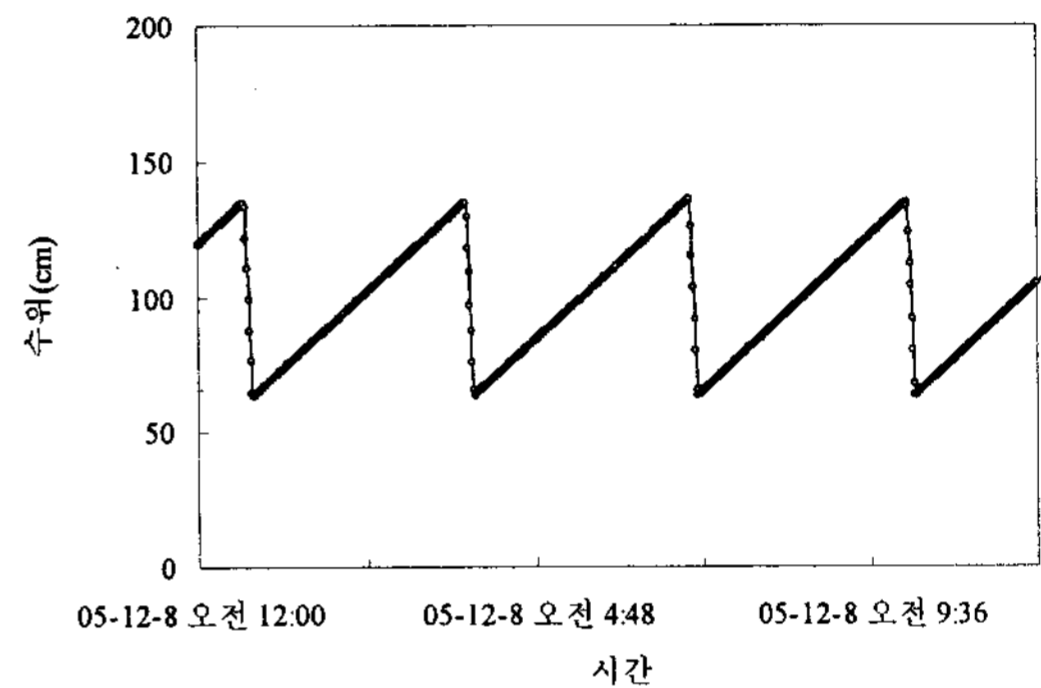
그림 7. 무선센서노드 설치전경: (a) 불꽃감지 센서노드; (b) 출입자감지 센서노드

V. 결과분석

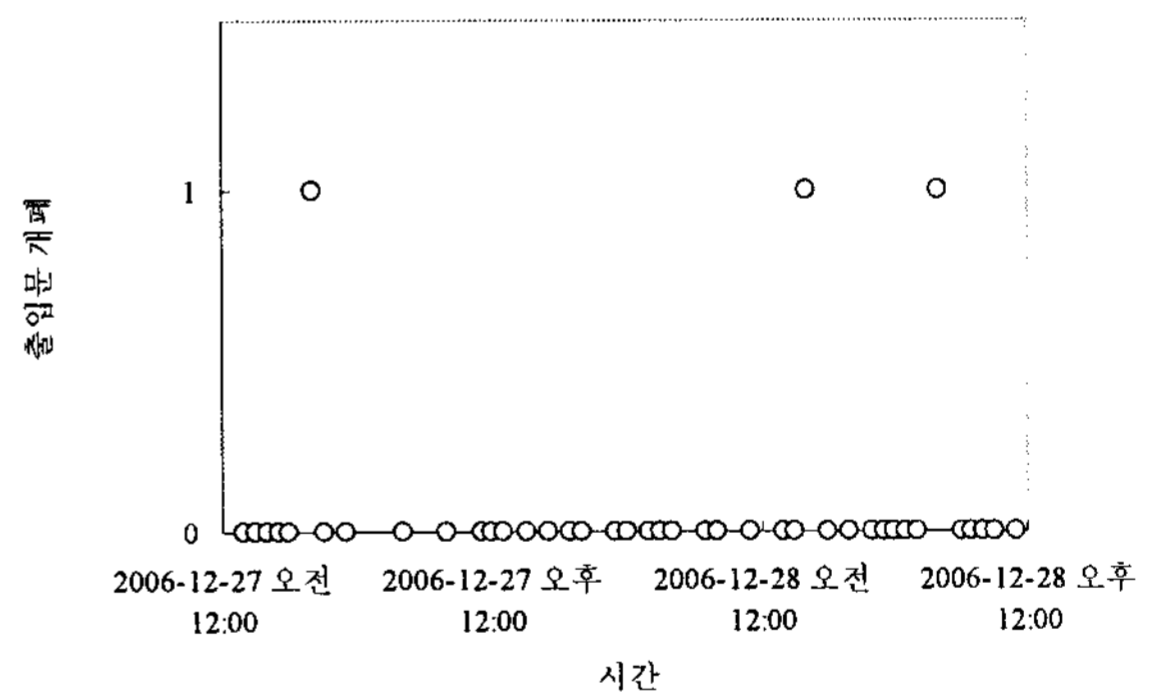
1. 모니터링 결과

통신구 모니터링 설치 후 약 6개월 이상 운용하였으며 운용 결과 각 센서에서 획득된 데이터가 무선센서 네트워크에 의하여 중앙의 서버까지 잘 전송되는 것을 확인하였다. 그림 8(a)는 통신구 내부의 집수정에 설치된 수위센서에서 수집된 수위 그래프로서 최소 62cm와 최대 135cm의 높이에서 수위

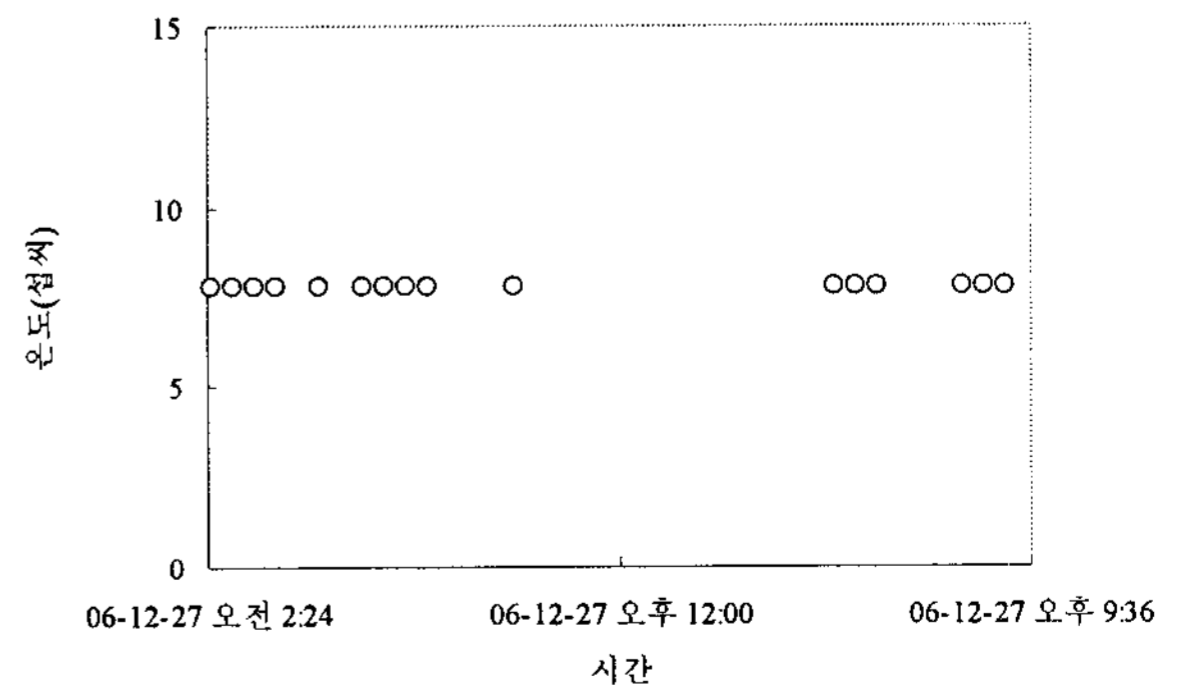
가 변동하는 것을 알 수 있다. 즉, 수위가 135cm에 이르게 되면 집수정 내부에 설치된 양수펌프가 작동하며 대략 8분간 작동한 후 수위가 62cm가 될 때 가동이 멈추는 것을 알 수 있다. 그리고 통신구 집수정에 다시 지하수가 유입되어 양수펌프가 작동할 때까지는 약 3시간이 소요됨을 알 수 있다. 따라서, 집수정의 용적을 알면 통신구 내부로 유입되는 지하수의 시간당 유입량도 추정할 수 있다. 그림 8(b)는 통신구 출입문의 개폐 이벤트를 나타내는 그래프이며 문이 열리거나 닫힐 때의 값을 1로 표기해준다. 따라서 그래프로부터 사람이 통신구 내부로 들어온 시각 및 나간 시각을 각각 확인할 수 있다. 그림 8(c)는 통신구 내부의 온도를 나타내주는 그래프로서 섭씨 7도가 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.



(a) 집수정 수위변화 그래프



(b) 출입문 개폐 이벤트 그래프



(c) 온도 그래프

그림 8. 통신구 감시 시스템 모니터링 결과: (a) 집수정 수위변화 그래프; (b) 출입문 개폐 이벤트 그래프; (c) 온도 그래프

프

2. 문제점 분석

A 통신구의 네트워크 토폴로지는 일종의 클러스터 트리(cluster tree) 구조로서 센싱된 데이터는 릴레이노드를 경유하여 게이트웨이까지 전송된다. 데이터 샘플링 간격은 1분 간격으로 셋팅되어 있으며 10분 간격으로 데이터를 인접 릴레이노드로 전송하도록 설계되어 있으므로 전력을 많이 소비하는 것으로 나타났다. 또한, 게이트웨이 직전에 위치한 릴레이노드의 경우에는 다량의 데이터 집중으로 인한 충돌(collision)현상이 발생하였으며 이에 따라 전원이 상대적으로 빨리 고갈되는 것으로 나타났다. 한편, 이와 같은 클러스터 트리 구조의 멀티 호핑 환경 하에서 불안정한 패킷에 의한 데이터 끊김 현상이 자주 발생하였으며 이를 개선하기 위하여 전송방식을 전송제어 프로토콜(TCP)에서 사용자 데이터그램 프로토콜(UDP)로 변경하였다. A 통신구 감시 시스템의 전원으로서 12V 배터리를 사용하였으며 운용 결과 약 7일간 지속하는 것으로 나타났다. 모니터링 시스템의 소비전력을 줄이기 위하여 스타 네트워크의 토폴로지를 갖는 B 통신구의 경우에는 앞에서 언급한 바와 같이 센서노드와 게이트웨이 사이에 컨트롤 패킷을 주기적으로 교환하고 이를 통하여 서로의 시간을 일치시킨 후 데이터를 전송하게 하고 전송 후에는 슬립 모드로 전환하도록 한 결과 배터리 수명이 A 통신구와 비교하여 약 8배 정도 연장됨을 확인할 수 있었다. 하지만, 화재와 같은 중요재난의 감시는 24시간 항상 작동이 되어야 하므로 데이터 샘플링의 시간 간격을 연속적으로 셋팅해야 하며 이 경우 센싱노드에 220V 상전이 공급되어야 할 것으로 판단된다.

VI. 결론

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 다음 사항이 해결되어야 한다.

(1) 센싱노드와 게이트웨이 전원문제 해결

통신구 모니터링 시스템에서는 샘플링 간격을 최소 1분으로 셋팅하여 데이터를 취득하고 있지만 구조물의 진동을 계측하는 경우에는 샘플링 주파수를 매우 높게 설정해야 하며 [5], 가속도계(accelerometer) 센서의 경우 샘플링 주파수를 최소한 100Hz로 설정해야 한다[6]. 이와 같이 많은 량의 데이터를 계속적으로 전송하기 위해서는 센싱노드가 전력을 그만큼 많이 소비하게 되며 따라서 배터리로 구동되는 센싱노드는 전력이 금방 고갈되게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 선진 각국에서는 태양에너지 또는 진동 등으로부터 전력을 얻는 자가발전 센싱노드의 개발에 힘을 기울이고 있다[7].

(2) 관리기준치 개발

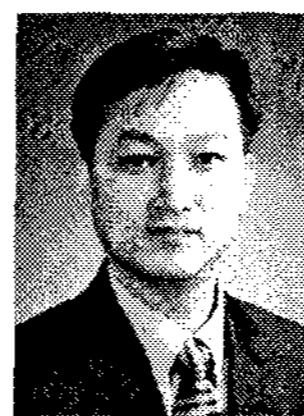
구조물 상태 모니터링의 목적은 구조물이 위험상태에 이르기 전에 위험사실을 구조물 관리자 또는 사용자에게 미리 알려줌으로써 구조물뿐만 아니라 사용자의 안전을 확보하는 데 있다. 이를 위해서는 모니터링 데이터가 위험수준임을 알려주는 기준, 즉 임계값(threshold)의 설정이 필요하다. 임계값을 너무 낮게 설정하면 위험신호 발령이 너무 잦아 모니터링 시스템 자체의 신뢰성이 떨어지며 반대로 임계값을 너무 높게 설정하면 구조물의 위험이 임박할 때 비로소 발령을 내리게 되는 우를 범할 수 있다. 따라서, 구조물의 특징에 맞는 정확한 임계값 설정 연구가 필요하다.

(3) 모니터링 지능화

홍수, 산사태, 화재 등과 같은 재해 또는 재난을 예방하기 위한 모니터링 시스템은 무엇보다도 데이터의 신뢰성이 중요하다. 예를 들어, 화재감지 모니터링 시스템의 경우 화재가 발생하였지만 경보가 울리지 않거나 화재가 발생하지 않았음에도 불구하고 경보가 울리는 오류가 자주 발생한다면 시스템을 신뢰할 수 없게 된다. 따라서, 화재감지의 경우에는 불꽃감지센서, 온도센서, 연기감지센서, 습도센서, 일산화탄소 감지센서 등에서 획득한 데이터를 종합하여 화재발생 여부를 추론하는 지능형 모니터링 시스템이 필요하다.

참고문헌

- [1] KT, 설계기준(통신토목시설), 2003.10.
- [2] 행정자치부고시 제2004-20호
- [3] Admire Kandawasvika, Wolfgang Reinhardt, "Investigation on multi-GeoSensors integration using OGC SensorWeb in a landslide monitoring system," AGIS Lab - Arbeitsgemeinschaft GIS University of the Bundeswehr Werner-Heisenberg-Weg 39 D-85577 Neubiberg, Germany.
- [4] Ren-Guey Lee, Kuei-Chien Chen, Chien-Chih Lai, Shao-Shan Chiang, Hsin-SHeng Liu, Ming-Shyan Wei, "A backup routing with wireless sensor network for bridge monitoring system," *Measurement*, Volume 40, Issue 1, pp.55-63, 2006.
- [5] Jerome et al., "Wireless structural monitoring of the Geumdang bridge using resolution enhancing signal conditioning," *Proceedings of the 24th International Modal Analysis Conference*, 2006.
- [6] A. Elgamal, J. P. Conte, and M. Fraser, "Health Monitoring For Civil Infrastructure."
- [7] Vijay Raghunathan, Saurabh Ganeriwal, and Mani Srivastava, "Emerging Techniques for Long Lived Wireless Sensor Networks," *IEEE Communication Magazine*, pp.108-114, April 2006.



김형우

1986년 연세대학교 토목공학과 (공학사).  
1988년 연세대학교 토목공학과 (공학석사).  
2003년 KAIST 건설및환경공학과 (공학박사).  
1990년~현재 KT미래기술연구소 연구  
전문그룹 수석연구원. 관심분야는 IT를 활

용한 구조물상태모니터링 및 방재모니터링 임.