
무선 센서 네트워크를 이용한 건축물 인상/기초보강 공사 모니터링 시스템

황인문* · 손철수* · 박나연* · 변항용** · 김원중***

Monitoring System For Structure Lifting or Foundation Reinforcement Work Using Wireless Sensor Network

In-moon, Hwang* · Cheol-su Son* · Na-yeon Park* · Hang-Yong Byun** · Won-Jung Kim***

요 약

기존의 유선 네트워크에 비하여 무선 네트워크는 저전력, 저비용, 자율 네트워크 구성 등의 장점을 가지고 있어 이를 대체하는 연구가 많이 진행되고 있다. 건축물 인상/기초보강 공사는 고도의 정밀한 측정이 병행되어야 하기 때문에 건축물에 각종 센서를 설치하고 그 센서를 데이터 로거에 연결하여 센서 데이터를 모니터링 하면서 작업한다. 그러나 이러한 유선 데이터 로거 방식은 배선에 많은 시간이 소요되고 설치된 배선은 공사에 방해가 된다. 또한 유선 데이터 로거 방식에서는 단순히 수치와 그래프 형태만으로 표시되는 한계성 때문에 공사 진행에 필요한 신속한 의사 결정을 효과적으로 지원하는 데에는 한계가 있다. 이러한 유선 데이터 로거 방식의 배선 관련 문제점을 해결하고 신속한 의사 결정을 지원하기 위하여 무선 센서 네트워크 기반의 모니터링 시스템을 설계 및 구현하였다. 이 시스템의 성능, 정확성, 유용성을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 현장 실험을 실시하였다. 그 결과로 본 연구의 무선 센서 네트워크 방식이 기존 유선 데이터 로거 방식보다 설치와 배포가 용이하고, 건축물과 센서가 3D로 표현되고 움직임으로써 사용자가 직관적이고 전체적인 모니터링이 가능하고, 유선 방식만큼의 정밀도를 제공할 뿐만 아니라 다수의 센서에 대해서도 실제로 적용 가능한 성능을 보임을 검증하였다.

ABSTRACT

Wireless sensor network has merit of low-power, low-cost and self-organization network, so there are many researches substituted for existing wire network. As structure reinforcement work need a high accuracy, many sensors are installed in structure and connected with data logger for monitoring. However this wire data logger method takes a long time to install wires and installed wires obstruct to work. Additionally, wire data logger method represent sensor data by only numeric and graph, it is not able to support a rapid decision-making for working. To resolve wiring problem and support decision-making, we designed and implemented the monitoring system based in wireless sensor network. For verifying performance, accuracy and availability, we simulated and tested our system in real field. Consequently, wireless sensor network method is easier to install and deploy than wire data logger method, user is able to monitor instinctively and overall by 3D representation of structure and sensors, and it show not only accuracy but also performance for many sensors.

키워드

Wireless Sensor Network, Monitoring, Structure Reinforcement

* 순천대학교

** (주)고려E&C

*** 교신저자

I. 서론

무선 센서 네트워크는 저 전력과 저비용인 다수의 노드들이 자율적으로 네트워크를 구성하는 장점을 가지고 있어, 기존의 유선 네트워크 기술의 문제점을 해결하는 연구가 많이 진행되고 있다. 무선 센서 네트워크는 건설, 농업, 의료, 홈 네트워크, 빌딩 제어 등 다양한 분야에 걸쳐 적용될 수 있다[1, 2]. 대부분 연구 또는 실험용으로만 적용되던 과거의 무선 센서 네트워크가 최근에는 실제 현장에 적용할 수 있는 시스템들이 점차적으로 많이 개발되고 있다[3, 4].

건축물 인상/기초보강 공사에서는 구조적 문제가 발생한 건축물에 대한 인상 보강 작업을 안전하고 정밀하게 수행하기 위하여 건축물에 인상 변위 측정 센서와 외벽 크랙 측정 센서를 설치하고, 센서들을 데이터 로거에 유선으로 연결하여 계측하면서 작업을 한다. 그러나 유선 데이터 로거 계측 방식은 다음과 같은 문제점이 있다.

첫째, 복잡한 공사 현장에 센서를 설치하고 데이터 로거까지 신호선을 배선하는데 많은 시간이 소요되고, 설치된 다수의 배선으로 현장 작업에 많은 지장을 주고 있다. 둘째, 센서로부터 발생한 아날로그 형태의 미소 전압 신호가 유선을 통하여 원거리로 전송되면서 신호에 노이즈가 포함되거나 감쇠 현상이 발생하여 매우 정밀해야 할 데이터에 왜곡이 발생하기도 한다. 셋째, 데이터 로거는 수집한 데이터를 단순히 수치와 그래프 형태로만 표현하기 때문에 사용자가 반복적으로 해석하고 결정하여야 하고, 건축물 인상과 같은 높은 위험성과 고난이도 작업에 대한 사용자의 신속한 의사 결정을 지원하는 데 문제가 있다[5]. 마지막으로, 데이터 로거는 건축물에 설치된 센서의 위치를 직관적으로 표현할 수 없고 통합적인 센서 관리가 어렵다.

본 연구는 이러한 유선 데이터 로거 방식의 문제점들을 해결하기 위하여 센서가 설치된 바로 그 지점에서 아날로그 형태의 미소 전압을 증폭하고 디지털 변환하는 센서 보드를 개발하고, 변환된 센서 데이터를 수집하여 모니터링 프로그램으로 송신하는 센서 네트워크 응용 프로그램을 개발한다. 또한 수집한 다양한 센서 데이터를 집산화하고, 비교 분석할 수 있도록 수치와 그래프뿐만 아니라 3차원의 가상공간에 건축물을 표현하고 센서 데이터에 따라 건축물이 움직이는 실시간 3D 모니터링 시스템을 구현한다.

II. 본 론

2.1 Pile Reaction 기술

건축물의 인상/기초보강 공사에 사용되는 Pile Reaction 기술의 개념과 특징 그리고 적용되는 분야를 살펴본다. 다양한 원인에 의하여 부등 침하되어 기울어진 건축물이나 증축 공사 또는 리모델링 공사에 PR 기술을 사용할 수 있다[6, 7]. PR 기술은 구조물을 지지할 수 있는 보강용 강관을 유압잭의 반력으로 소요 지지층까지 압입한 후 압입한 보강용 강관들을 동시에 가압하여 구조물을 인상하거나 기초를 보강한다. PR 기술에 의하여 구조물이 인상되면 지하를 굴착하여 지하로의 증축을 할 수도 있고, 기둥, 보 등 구조 부재를 치환하여 보수 보강 할 수도 있게 된다. 기초 콘크리트 타설 후 파일 공사와 상부 공사를 동시에 진행할 수도 있다. 그림 1은 부등 침하 건물에 PR 기술을 적용하여 기초 보강 및 인상 공사를 하는 개념도이다.

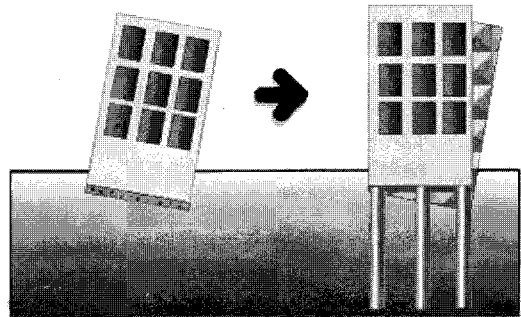


그림 1. 기초 보강 및 인상
Fig. 1 Reinforcing foundation and pulling up

표 1. PR 기술 특징
Table. 1 Features of PR technology

내용	기술적 특징
비 굴착 압입	증장비의 굴착으로 인한 폐기물과 기초 저면의 지반 교란이 없음
무진동, 소음 압입	유압잭은 소형이기 때문에 협소한 공간에서도 작업을 할 수 있고, 진동과 소음이 없어 진동으로 인한 지반 침하와 민원이 없음
압입강관 동시기압	유압잭은 압입 강관들을 동시에 가압할 수 있고, 조합에 따라 수만 톤의 큰 힘을 발휘할 수도 있다.

PR 기술의 특징은 표 1과 같이 비굴착 압입을 하기 때문에 폐기물이 발생하지 않아 친환경적이며, 대형 중장비가 아닌 소형의 유압잭을 사용하기 때문에 협소한 곳에서도 작업이 가능하고 진동은 물론 소음도 없어 민원 발생의 소지 또한 없다. 그리고 다수의 유압잭을 동시에 가압할 수 있기 때문에 수 만 톤의 큰 힘도 발휘할 수 있다.

PR 기술의 적용 분야는 침하 구조물 인상, 치환 보수 보강, 기동 신설, 연약 지반 시공 등이며 그 효과는 표 2와 같다.

표 2. PR 기술의 적용 분야
Table. 2 Application fields of PR technology

적용 분야	효과
침하 구조물 인상	각 강관의 압입 하중을 소요내력 이상으로 하기 때문에 추가 침하를 방지 가능
치환 보수 보강	교각과 부관하게 상부하중을 지지 보, 기동 등을 부분 철거 가능
기동 신설	중축이나 중량물 증설시 기초판을 설치하지 않아도 됨
연약 지반 시공	구조체 공사와 기초파일공사를 동시에 시공 가능

2.2 PR기술 적용 사례

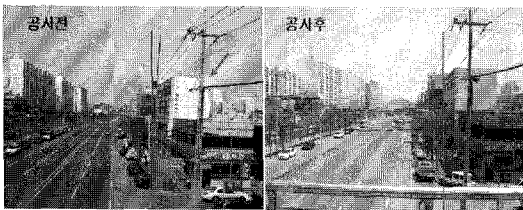


그림 2. 적용 사례
Fig. 2 Application example

PR 기술을 이용하여 부동 침하된 건물의 인상, 부동 침하된 19층 아파트의 인상, 부동 침하된 옹벽 인상과 침하 구조물에 대한 기초 보강 등의 공사를 하였다[8]. 그림 2는 부동 침하된 건물의 인상 공사 전 사진과 공사 후 사진이다.

2.3 PR 기술을 이용한 보강 공사 절차

모니터링 시스템을 개발하기 위하여 실제 현장에서 PR 기술을 이용하여 보강 공사를 하는 절차를 분석하였다. 공사 참여자에는 작업진행을 총괄 진행하는 총책임자, 현황 조사와 구조 설계하는 기사, 실제 작업을 하는 용접공, 기능공, 콘크리트공이 있다.

그림 3은 PR 기술을 적용하여 보강 공사를 하는 유스 케이스이다. 건축기사는 구조물의 상태, 구조형태, 지반의 수성 상태에 대한 현황 조사를 하고, 이 현황 조사에 근거하여 건축구조설계사가 하중 산출, 압입 파일의 내력 결정, 배치 및 구조 해석을 한다. 기능공은 천공 작업 후 반력 앵커를 설치, 고강도 몰탈을 타설한다. 용접공이 철근 용접을 하면, 기능공이 상부 반력 강관을 설치하고 강관 파일 및 상부 유압잭을 설치한 후 파일을 압입한다.

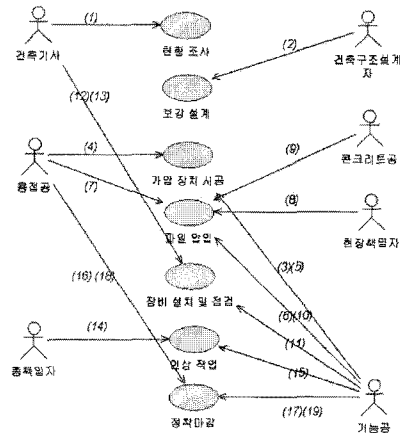


그림 3. 보강 공사의 유스 케이스
Fig. 3 Use case of reinforcement work

현장 책임자가 압입력을 확인한다. 콘크리트공이 콘크리트를 충전하고 기능공은 인상 유압잭을 설치한다. 기능공이 유압 배관 및 그룹핑 작업을 한다. 건축기사가 계측 장비와 센서 장치를 설치한다. 총책임자가 기울기, 균열, 인상폭을 측정하면서 계측 인상을 한다. 기능공은 총책임자 지시로 인상 유압잭을 작동한다. 용접공은 압입 파일과 철근 용접을 한다. 기능공은 가압장치를 해제한다. 용접공은 정착 판을 설치한다. 기능공은 고강도 몰탈 타설하여 파일두부를 마감한다.

III. 시스템 분석 및 설계

3.1 시스템 구성

무선 센서 네트워크를 이용한 건축물 보강 공사 모니터링 시스템은 그림 4와 같이 다수의 무선 센서, 무선 게이트웨이, 모니터링 시스템으로 구성된다. 무선 센서는 센서로부터 아날로그 형태의 미소 진압을 증폭하고 그것을 디지털로 변환하여 무선 게이트웨이로 전송한다. 무선 게이트웨이는 무선 센서들과 모니터링 시스템을 연결시키는 게이트웨이이다. 모니터링 시스템은 무선 센서들에 대한 송수신 제어 및 데이터 수집 주기를 설정하고, 수신한 센서 데이터를 가공하여 수치, 그래프 및 3D 형태로 보여준다. 무선 센서에 연결되는 센서의 종류는 변위를 측정하는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer), 크랙을 측정하는 파이형 스트레인 게이지(Strain Gage), 기울기를 측정하는 기울기 센서이다.

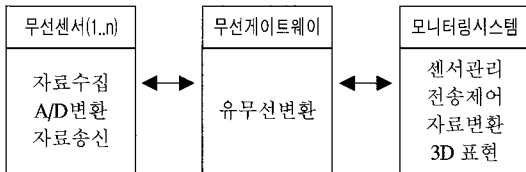


그림 4 . 시스템 구성
Fig. 4 System configuration

3.2 모니터링 시스템 요구 분석

총괄책임자는 그림 5와 같이 모니터링 시스템을 설정하고 구성하여 공사 중인 건축물 상태를 모니터링하면서 공사를 진행한다. 무선 센서들은 공사 현장에 설치된 위치와 상황에 따라 그룹으로 구분되어진다. 무선 센서로부터 수집한 데이터를 모니터링 시스템으로 전송할 주기를 무선 센서에 설정한다. 센서 데이터에 대한 전송 시작과 중지 명령을 무선 센서에 전송한다. 모니터링 시스템은 수신한 센서 데이터를 변환하여 그룹별로 수치, 그래프로 표현하고 3차원 가상공간에 건물의 모습과 움직임을 표시한다.

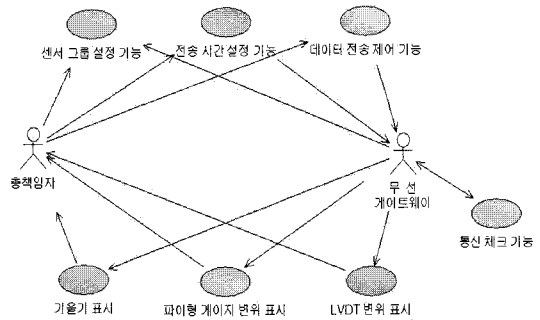


그림 5. 모니터링 시스템 유스 케이스
Fig. 5 Use case of monitoring system

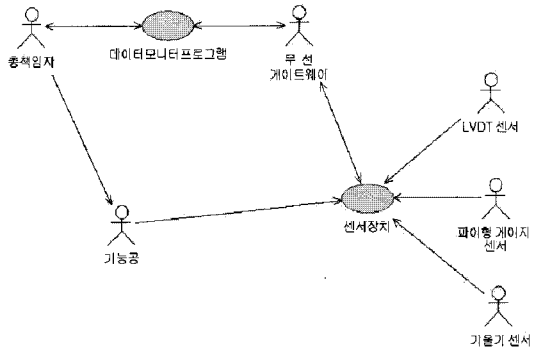


그림 6. 무선 센서 유스 케이스
Fig. 6 Use case of wireless sensor

3.3 무선 센서 요구 분석

무선 센서는 무선 송수신기와 센서 데이터 수집기로 구성된다. 센서 데이터 수집기는 LVDT 변위 센서, 파이형 스트레인 균열 센서, 기울기 센서로부터 아날로그 데이터를 받아 증폭하고 디지털로 변환하고, 설정된 주기에 따라 무선 게이트웨이로 송신한다. 또한 센서 데이터 수집기는 무선 게이트웨이로부터 수신한 각종 설정 정보를 저장하고 실행한다. 무선 송수신기는 전원 인가시 자동으로 센서 네트워크 기능을 검사하거나 장착된 단추를 눌러서 센서 네트워크 기능을 수동으로 검사한다.

3.4 제약 사항

측정 주기는 무선 센서 네트워크의 대역폭과 모니터링 시스템이 동작하는 노트북 또는 데스크탑의 성능에 따라 조정된다. 표 3과 같이 메인 화면에 표시되는 10개의 센서는 최소 1초, 수치 또는 그래프 화면에 표시되는 센서는 최소 5초 이상의 주기로 설정할 수 있다. 무선 센서의 분해력은 무선 데이터 수집기에 장착된 ADC의 분해력인 212(4096) 단계이지만, 변환 오차를 고려하면 211(2048) 단계까지만 유효하다. 무선 센서간의 최대 통신 거리는 개활지에서 50m이므로 장거리 통신 또는 무선 센서 사이에 장애물이 있을 경우 중계용 무선 송수신기가 추가로 필요하다.

표 3. 측정 주기와 분해력
Table. 3 Sensing period and resolution

센서 종류	단위	측정 주기	분해력
LVDT 변위	mm	1~5초 이상	0.1mm
스트레인게이지	수	1~5초 이상	2048 단계
기울기	도	1~5초 이상	0.1도

3.5 인터페이스

무선 센서들과 모니터링 프로그램은 TinyOS 기반의 무선 통신을 한다. 기본 형식은 그림 7과 같이 TinyOS 헤더에 PRT 모니터링 시스템 헤더부가 붙고, 전문별로 필요한 메시지가 가변 길이로 붙는다.

TinyOS 헤더	PRT 헤더		데이터부
11 Bytes	TC	DataTime	전문별로 다름
	6 Bytes	6 Bytes	최대 17 Bytes

그림 7. 전문 형식
Fig. 7 Message format

PRT 모니터링 시스템 헤더부는 트랜잭션 코드(Transaction Code)와 송신 일시로 구성된다. 전문 구별하고 분배하여 처리하고 디버깅이 용이하도록 TC부를 그림 8과 같이 송신부, 수신부 그리고 응답/요청 구분으로 구성한다.

송신부와 수신부에는 모니터링 프로그램이 실행되는 노트북 또는 데스크탑을 H(Host)로 데이터를 수집하

고 송신하는 무선 센서는 R(RF device)로 설정된다. 전문 종류는 명령하는 R(Request)와 명령에 응답하는 A(Answer)로 구분된다.

송신부	수신부	전문 종류	순번		
1 Byte	1 Byte	1 Byte	3 Bytes		
R	H	R	1	0	0

그림 8. 트랜잭션 코드 형식
Fig. 8 Transaction code format

3.6 주요 기능

무선 센서는 그림 9와 같이 무선 송수신기와 센서 데이터 수집기로 구성된다. 무선 송수신기는 모티링 시스템과 무선 센서 네트워크 통신으로 수집, 설정, 제어 명령 전문을 수신하고, 수집한 데이터와 응답 전문을 모니터링 시스템에 송신한다. 무선 송수신기는 센서 데이터 수집기와 UART 유선 통신 방식으로 센서 데이터를 수

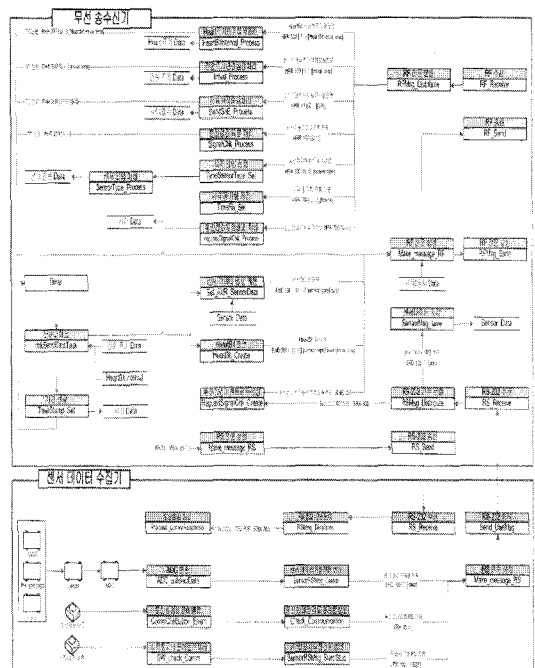


그림 9. 무선 센서의 기능 블록
Fig. 9 Function block of wireless sensor

IV. 시스템 구현

4.1 모니터링 시스템

모니터링 시스템은 데스크톱 또는 노트북과 같은 Windows 기반의 개인용 컴퓨터에서 동작한다. 개발 및 동작 사양은 표 4에 기술되어 있다.

표 4 모니터링 시스템 사양
Table. 4 Specification of monitoring system

하드웨어	CPU: Pentium 4 2.0 Ghz RAM: 1GHz
소프트웨어	OS : Windows XP Tools: Visual Studio 2005 Language: C# Library: .Net Framework

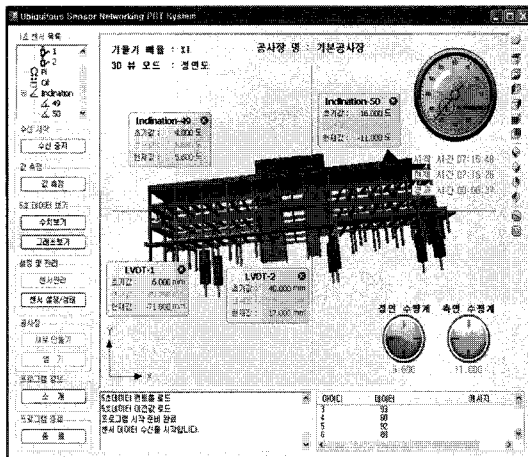


그림 10. 3D 모니터링 메인 화면
Fig. 10 3D Monitoring main screen

그림 10은 모니터링 시스템의 메인 화면이다. 3차원 가상공간에 건물을 표현하고, 센서가 설치된 위치도 표시된다. 또한 사용자가 원하는 관점에서 건물을 정면, 좌우측면, 배면, 밑면, 등각 등의 형태로 볼 수 있다. 기울기 센서로부터 수신한 기울기 데이터를 기반으로 정면, 측면 수평계를 표시하고, 또한 인상 보강 작업에 의한 건물의 움직임도 실시간으로 표시한다. 사실상 인상 보강 작업을 할 때 건물의 움직임은 매우 미소하여 육

안으로 구별하기가 어렵기 때문에 사용자가 기울기 배율을 설정하여 과장되게 표시할 수 있도록 하여 공사 중인 건물의 움직임을 용이하게 파악하도록 하였다. 수집된 데이터는 공사장 별로 데이터베이스를 구축하여 실시간으로 저장함으로써 공사 후 작업 결과에 대한 분석을 할 수 있다.

센서 데이터의 추이를 그림 11과 같이 수치 또는 그래프 형태로 표현하였다. 또한 그래프에 센서 값뿐만 아니라 작업 목표 값을 설정하여 가이드 선으로 표시함으로써 의사 결정을 용이토록 하였다. 또한 현장의 보강 작업 형태와 같이 다수의 센서를 여러 개의 그룹으로 나누어 표시할 수 있도록 하였다.

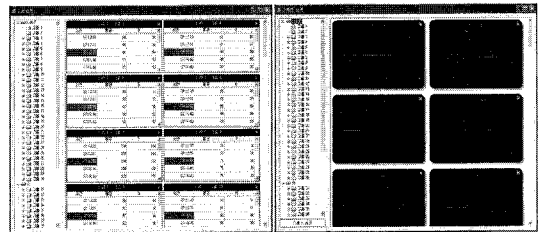


그림 11. 수치와 그래프 표현
Fig. 11 Representation by numeric and graph

4.2 센서 모듈

상용 무선 센서 네트워크용 송수신 장치에 많이 사용되는 ATMEGA128 또는 MSP430 같은 MCU 자체의 ADC는 최대 10비트 정도의 분해력만 제공한다. 본 연구의 제약 사항 중 하나인 센서 데이터를 212의 분해력을 만족시키기 위하여 그림 12와 같이 MICROCHIP사의 MCP320C ADC를 사용하고, 저전력형 단전원 LM2904 연산 증폭기를 사용하여 미소 전압을 증폭하였다.

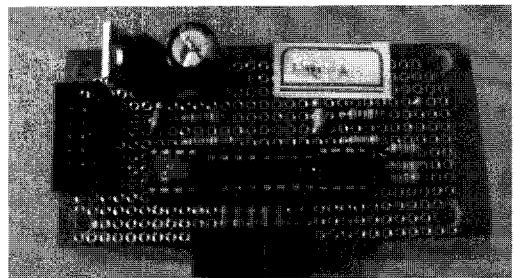


그림 12. 센서 모듈
Fig. 12 SEnsor module

4.3 무선 송수신기

센서 네트워크 무선 송수신 장치는 휴인스 사의 USS2400 무선 모듈을 사용하였다. 이 무선 모듈은 Chipcon 사의 CC2420 무선 트랜시버와 ATMEL 사의 ATMEGA128L MCU로 구성되어 있다. 무선 송수신 장치의 프로그램은 TinyOS 기반의 NesC로 개발되었다.

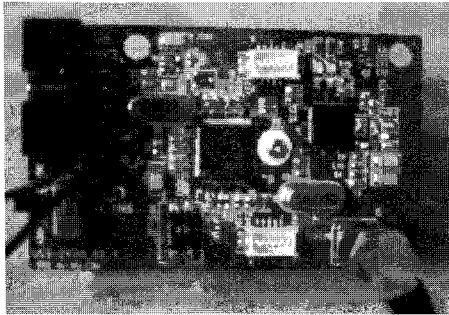


그림 13. 무선 송수신기
Fig. 13 Wireless transceiver

4.4 데이터 수집기

센서 모듈과 SPI(Serial Peripheral Interface) 통신으로 센서 데이터를 수집한다. 수집된 데이터의 오차를 최소화하기 위하여 1초에 100회를 수집하고 평균의 내어 무선 송수신기에 RS232C 통신으로 보낸다. 데이터 수집기는 엔티렉스 사의 NT-A128 보드와 ATMEGA128 MCU로 구성된다.

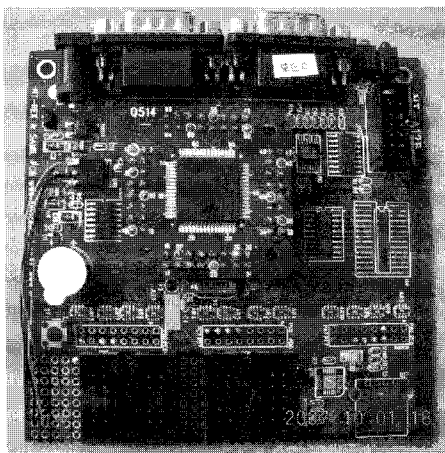


그림 14. 데이터 수집기
Fig. 14 Data collector

4.5 무선 게이트웨이

무선 게이트웨이는 무선 센서들로부터 수신한 데이터를 모니터링 시스템에 유선으로 연동시킨다. 무선 게이트웨이는 휴인스 사의 USS2400 무선 모듈과 USBtoSerial 모듈로 구성된다. 무선 게이트웨이의 사용의 편의성을 위하여 무선 게이트웨이의 전원은 USB 모듈로부터 공급된다.

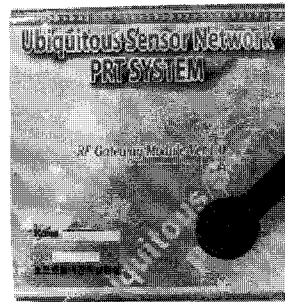


그림 15 무선 게이트웨이
Fig. 15 Wireless gateway

V. 시험 및 평가

5.1 시험 방법

기존의 건축물 보강 공사에 사용되었던 유선 데이터 로거 시스템을 대체하기 위해 개발된 무선 센서 네트워크 기반의 모니터링 시스템의 적합성과 성능을 검증하기 위하여 시험하였다. 무선 센서의 정확성 테스트를 위하여 실제 공사 현장에 센서를 설치하고 각각의 센서를 데이터 로거와 무선 센서에 동시에 연결하여 측정된 값을 비교 확인 한다. 무선 센서 네트워크와 모니터링 시스템의 처리 성능을 측정 하기 위해서는 데이터 생성 시뮬레이터에서 동시에 50개의 센서가 1초 간격으로 데이터를 발생시킨다.

5.2 시험 결과 및 평가

표 5의 LVDT 변위 센서를 데이터 로거와 무선 센서를 동시에 연결하고, LVDT 변위 센서에 5V를 전원을 인가하여 0mm부터 100mm까지 20 mm 간격으로 이동하고, LVDT 출력 전압을 측정하여 mm 단위로 변환한 결과이다. DTL은 데이터 로거로 측정된 결과이고 RFS 무

선 센서로 측정된 결과이다. 무선 센서를 0mm에 100 mm 까지 측정할 수 있도록 설정하였기 때문에 시작과 끝인 0mm와 100mm에서는 오차가 0이다. DTL와 RFS의 차이는 최대 0.03 mm 이하이고 이것은 제약 조건인 0.1mm를 만족한다.

표 5. LVDT 센서 값 비교
Table. 5 Comparison of LVDT sensor values

DTL	0	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00
RFS	0	20.01	40.02	60.03	80.02	100.00
차이	0	0.01	0.02	0.03	0.02	0

모니터링 시스템은 비동기적으로 발생하는 센서 데이터 수신 이벤트와 주기적으로 발생하는 타이머 이벤트로 동작한다. 그림 16은 1초 주기로 데이터를 송신하는 센서 수를 10개에서 50개까지 10개씩 늘렸을 때 10초 간격으로 모니터링 시스템의 CPU 점유율을 Windows의 perfmon 유틸리티를 이용하여 측정된 결과이다. 10개, 20개, 30개, 40개, 50개의 센서로부터 데이터를 수신할 경우 평균 10.8%, 14.2%, 21.3%, 29.2%, 37.2%의 CPU 점유율을 보인다. 이와 같은 결과는 센서의 수의 증가에 따라 CPU 점유율이 거의 선형적으로 증가 하지만 40% 이하로 제약 사항을 만족한다.

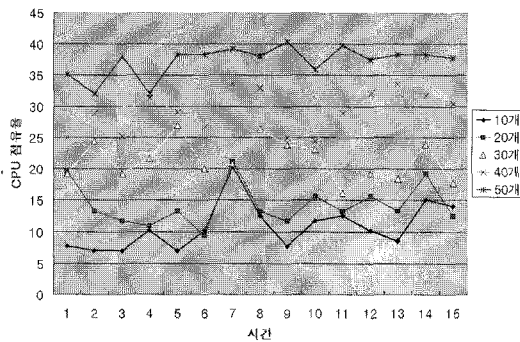


그림 16. CPU 점유율
Fig. 16 CPU Usage

이상과 같이 실제 공사 현장에 무선 센서를 설치하고 센서 네트워크를 구성하여 모니터링 시스템의 평가한 결과, 무선 센서 네트워크 기반의 보강 공사 모니터링 시

스템의 정확성과 성능에 문제가 없고 의상 결정에 효과적임을 확인했다.

VI. 결 론

기존 공사 현장에서 사용하던 유선 데이터 로거 기반의 단순 수치 또는 그래프 모니터링 방식은 배선의 문제 및 직관적 판단에 문제가 많았다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 무선 센서 네트워크를 도입하였고 모니터링 시스템에 건물의 움직임을 3D 화면으로 표현함으로써 공사 진행에서 빠른 의사 결정을 도울 수 있었다. 본 연구의 무선 센서는 한 개의 센서에 대해서만 데이터 수집 및 송신이 가능하도록 구현되었다. 향후 비용 절감 및 데이터 발생에 따른 전문 전송 횟수를 줄이기 위하여 다수의 센서에 대해서도 동시에 데이터를 수집할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Carle, J. Simplot-Ryl, D. , "Energy-efficient area monitoring for sensor networks," IEEE Computer Society, vol. 37, 2004, pp. 40-46.
- [2] Gracanin, D. Eltoweissy, M. Wadaa, A. DaSilva, L.A., "A service-centric model for wireless sensor networks," IEEE Journal on selected areas in Communications, vol. 23, 2005, pp. 1159-1166.
- [3] A. Wheeler, "Commercial Applications of Wireless Sensor Networks Using ZigBee," IEEE Communications Magazine, vol. 45, 2007, pp. 70-77.
- [4] Yu-Chee Tseng Meng-Shiuan Pan Yuen-Yung Tsai , "Wireless sensor networks for emergency navigation," IEEE Computer Society, vol. 39, 2006, pp. 55-62.
- [5] Ning Xu, Sumit Rangwala, "A Wireless Sensor Network For Structural Monitoring," Proceedings of the ACM Conference On Embedded Networked Sensor Systems, 2004, pp. 13-24.
- [6] 변항용, 송창영, 이수근, "유압잭의 반력을 이용한 기존 구조물의 인상공법", 한국구조물진단학회 학술발표논문집 제8권 2호, 2004, pp 48-54.

- [7] 변항용, “압입파일을 이용한 기존 구조물의 인상과 기초 보강”, 한국구조물진단학회지, 제9권 2호, 2005, pp 32-43.
- [8] 변항용, 김선영, 송진규, 한천구, “파일 반력을 이용한 기술어진 아파트 인상 사례”, 한국구조물진단학회, 학술발표논문집 제11권 1호, 2007, pp 377-381.

저자소개



황인문(In-moon, Hwang)

2001년 순천대학교정보과학대학원
컴퓨터학과과졸업(이학석사)
2008년 순천대학교 컴퓨터과학과
이학박사

1991년~현재 순천제일대학 근무
※ 관심분야 : 소프트웨어공학, WSN, 유비쿼터스, 무선
계측제어



손철수(Cheol-su Son)

1994년 순천대학교 전자계산학과
졸업(이학사)
2007년 순천대학교 컴퓨터과학과
이학박사

1994~2002년 (주)포스데이타 근무
2008년 한국공학기술연구원 원장
※ 관심분야 : 위치측정, LBS, RFID, WSN



박나연(Na-yeon Park)

1997년 호남대학교 정보통신공학부
졸업(이학사)
2000년 순천대학교 컴퓨터과학과
졸업(이학석사)

2000년~현재 순천제일대학 컴퓨터과학과 조교수
※ 관심분야 : 데이터마이닝, 유비쿼터스 컴퓨팅, RFID
응용, 패턴인식



변항용(Hang-Yong Byun)

1977년 고려대학교 건축공학과
(공학사)
1999년 전남대학교 산업대학원
(공학석사)

2008년 청주대학교 대학원 건축구조(공학박사)
1991년~현재 (주)고려E&C 대표
2007년~대한시설물유지관리협회 기술위원
※ 관심분야 : 기존건물의 기보보강, 구조보강, 지하주
차장 증축 리모델링, 내진보강, 침하건물 인상



김원중(Won-Jung Kim)

1987년 전남대학교 계산통계학과
(이학사)
1989년 전남대학교 대학원 전산통
계학과(이학석사)

1991년 전남대학교 전산통계학과 이학박사
1992년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수
※ 관심분야 : 소프트웨어공학, 시스템 모델링, 객체지
향 시스템, 인터넷 서비스, RFID 응용