대형 건물의 구조 건전도 모니터링을 위한 무선 센서 네트워크 구성

Construction of wireless sensor network for structural health monitoring of large-scale buildings

이 홍 민* • 김 종 문** • 홍 정 범*** • 박 효 선****

Lee, Hong Min • Kim, Jong Moon • Hong, Jung Bum • Park, Hyo Seon

요 약

최근 사회기반시설을 대상으로 900 MHz - 2.45 GHz 대역의 무선 센서 네트워크 시스템을 이용한 구조반응 모니터링 연구가 수행되고 있다. 건물의 경우 수직, 수평으로 구조 부재, 칸막이 벽, 외장재 등에 의해서 공간이 차단되어 있고, 전파 간섭의 영향이 상대적으로 크기 때문에 900 MHz - 2.4 GHz 대역의 무선 네트워크 시스템은 그 한계가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 고려하여 장애물에 대한 회절성이 뛰어나고 전파의 간섭이 상대적으로 작은 저주파 대역의 무선 라디오 주파수를 도입한다. 이로부터 특히 지진 또는 바람의 영향 등의 외부 하중에 의하여 대규모 인명 손실을 초래할 수 있는 중요도가 매우 높은 대형 건물을 대상으로 실제 적용이 가능한 무선 센서 네트워크를 구성해 보았다.

keywords : 구조 건전도 모니터링, 무선 센서 네트워크, 대형 건물

1. 서 론

시공 단계에서부터 완공, 그리고 시간이 경과되어 구조물의 수명이 다 할 때 까지 사용자의 안전성 보장을 위해서 건물의 구조반응 모니터링은 수행되어야 한다(Park H.S. et al, 2008). 특히 대형 건물은 지진 또는 바람의 영향 등의 외부 하중에 의하여 대규모 인명 손실을 초래할 수 있는 중요도가 매우 높은 건물이기 때문에 구조반응 모니터링은 더욱 중요하다. 최근 주요 건물이 고층화, 복합화, 대형화 되는 추세에 따라 이러한 건물들의 구조 건전도 모니터링에 대한 중요성이 점차 부각되고 있으며 실제 적용사례도 늘고 있다.

그러나 대형 건물의 구조 건전도 모니터링은 그 규모가 크고, 복잡하기 때문에 특히 시공 단계에서는 전원 공급 및 센서로부터 구조 반응 정보를 데이터 로거로 전송하기 위한 배선 처리 문제로 많은 어려움이 있으며 완공 단계에 이르기까지 그 영향을 준다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 최근에는 무선 그리고 원격 모니터링 시스템을 도입하고 있다(Sridhar et al, 2008; Jang et al, 2008). 무선 원격 모니터링은 다음과 같이 크게 두 가지의 이점이 있다. 첫째는 센서와 데이터 로거 사이에 선의 설치가 필요 없기 때문에 센서 설치에 따른 자체 재료비가 없고 센서와 로거 사이의 배선 계획, 센서의 설치 위

* 학생회원 • 연세대학교 대학원 건축공학과 박사수료 idislee@yonsei.ac.kr
** 비회원 • (주)다솜테크 대표이사 kjmoon@nexmore.co.kr
*** 학생회원 • 연세대학교 대학원 건축공학과 석사과정 paksungwoo@naver.com
**** 정회원 • 연세대학교 건축공학과 교수 hspark@yonsei.ac.kr

치 문제 등을 고려할 필요가 없다. 둘째는 센서와 데이터 로거의 위치가 지형적으로 다른 곳에 있거나 또는 배선이 외부 환경의 영향을 받을 정도로 멀리 있을 때 계측 데이터의 손상, 연속적인 데이터 획득의 어려움, 시간 동기화 등의 문제를 해결할 수 있다. 이러한 장점으로 현재 무선 센서 네트워크에 대한 연구는 주로 교량, 터널, 댐 등과 같은 사회기반시설을 중심으로 수행되고 있으며, 주로 900 MHz - 2.4 GHz 주파수 영역의 저전력 단거리 무선 라디오 주파수를 이용한다. 건물의 경우 수직, 수평으로 구조 부재, 칸막이 벽, 외장재 등에 의해서 공간이 차단되어 있고, 전파 간섭의 영향이 상대적으로 크기 때문에 900 MHz - 2.4 GHz 대역의 무선 시스템은 한계가 있고 이러한 어려움으로 실제로 건물에 적용한 사례도 드물다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 고려하여 장애물에 대한 회절성이 뛰어나고 전파의 간섭이 상대적으로 작은 저주파 대역의 무선 라디오 주파수를 도입하고, 이로부터 대형 건물에서의 실제 적용이 가능한 무선 센서 네트워크를 구성해 보았다.

2. RFID 주파수 대역 비교

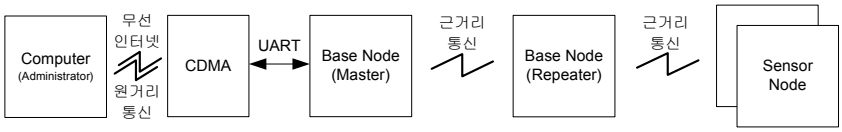
RFID(Radio-Frequency IDentification)란 전파를 이용해 먼 거리에서 정보를 인식하는 것을 말한다. RFID는 저주파, 고주파, 극초단파 및 마이크로파 대역 등 그 필요성에 따라 다양한 무선 주파수대역에서 동작하는 시스템이 제시되어 사용되고 있다. 일반적으로 각 주파수 대역에 따른 이용 현황은 표 1과 같이 인식거리, 인식속도, 환경영향, 그리고 태그의 크기 등을 고려하여 그 용도에 맞게 가장 적합한 조건으로 사용되고 있다. 구조물 건전성 모니터링을 위한 무선 센서 네트워크 시스템 또한 이러한 점을 고려하면 적용 범위는 극초단파와 마이크로파 범위가 가장 적합한 RFID 주파수 대역이며 따라서 대부분의 연구는 이 범위의 주파수 대역(900 MHz - 2.4 GHz)을 이용하여 무선 센서 네트워크 시스템을 구성해 왔다.

본 연구와 관련하여 대형 건물의 건전성 모니터링을 위한 주파수 대역은 기본적으로 구조반응 계측 데이터를 무선 송수신 할 수 있으며, 특히 장애물에 대한 회절성이 뛰어나고 전파의 간섭이 상대적으로 작아야 한다. 극초단파 대역 중 400 MHz 대역은 장애물에 대한 회절성이 뛰어나고 전파의 간섭이 상대적으로 작아 건물 적용이 유리하다. 실제 전파 출력을 최대 10 mW를 사용할 때 LOS(line of sight)에서 300 m 내외의 통신 거리를 가지고, NLOS(non line of sight)에서 70 m 내외의 통신 거리를 가진다. 이러한 저주파수 대역을 이용하면 시공 단계에서부터 완공단계 또는 필요에 따라 완공 후 단계에 이르기까지 대형 건물의 무선 모니터링이 현실적으로 가능하다.

표 1. RFID 주파수 대역별 특성 비교

사용 주파수	저주파(LF)	고주파(HF)	극초단파(UHF)		마이크로파
	125 MHz, 134 MHz	13.56 ㎒	433.92 MHz	860 - 960 MHz	2.45 GHz
인식거리	< 0.6 m	0.6 m	50 - 100 m	10 m	30 m
인식속도	저속 <----------> 고속				
환경영향	강인 <----------> 민감				
태그크기	대형 <----------> 소형				
적용분야	출입통제, 동물식별	IC 카드, 신분증	컨테이너 식별	유통물류 식별	톨게이트 시스템

(a) 무선 센서 노드의 통신 구성 1



(b) 무선 센서 노드의 통신 구성 2

그림 1 무선 센서 노드의 통신 구성

3. 대형 건물의 무선 센서 네트워크 구성

무선 센서 네트워크를 구성하는데 있어 대형 건물의 경우 수직/수평으로 거리가 무선 통신 능력을 벗어나기 때문에 이를 고려하여 무선 센서 네트워크를 구성한다. 본 연구에서 사용 되는 무선 네트워크는 Sensor node, Base node(Master node 또는 Repeater node), 그리고 CDMA, 크게 3종류로 분류되며, 이를 기본으로 기본 단위 모듈이 구성된다. 2장의 내용과 같은 무선 주파수의 성능으로 기본 단위 모듈 내에서는 LOS(line of sight)에서 300 m 내외의 통신 거리를 가지고, NLOS(non line of sight)에서 70 m 내외의 통신 거리를 가진다.

Sensor node는 센서로부터 구조반응 계측 데이터를 읽고 Base node로 데이터를 무선 송수신하는 부분이다. Base node는 Sensor node로부터 무선 송수신되는 데이터를 다른 Base node로 전달하는 기능을 하는 Repeater node, 또는 스스로가 데이터 수집의 최종 노드가 되어 사용자 또는 관리자에게 데이터를 전달하는 기능을 하는 Master node로 분류된다. Master node는 컴퓨터 또는 CDMA 모듈과 UART(Universal Asynchronous Receiver and Transmitter)로 통신을 한다. 컴퓨터에서는 Master node에서 수집된 데이터를 저장 또는 모니터 출력 하고, CDMA 모듈을 통해서는 원거리에 있는 컴퓨터와 무선 인터넷 통신을 하여서 멀리 떨어져 있는 사용자가 현장에서 수집된 데이터를 처리할 수 있도록 한다.

무선 센서 노드의 통신 구성은 무선 센서 노드가 컴퓨터와 직접 연결되는 통신 구성(그림 1(a))와 CDMA를 통해서 원거리에 있는 컴퓨터와 연결되는 통신 구성(그림 1(b))의 두 가지로 분류할 수 있다. 현재의 기술 수준으로는 Repeater node, Master node, 그리고 CDMA는 건전지로 전력 공급이 어렵기 때문에 장기 모니터링을 위해서는 전원 공급을 위한 배선 처리가 요구된다. 시공 단계 및 완공후의 전력 공급의 조건에 따라서, 또는 건물 규모에 따라서 그림 1의 두 가지의 무선 센서 노드의 통신 구성을 조합하여 사용 할 수 있다.

최종적으로 대형 건물의 구조 건전도 모니터링을 위한 무선 센서 네트워크를 구성하면 그림 2와 같다. 건물 내에서는 약 70 m 거리 이내에서 기본 단위 모듈(BN)을 구성하여 통신을 수행하고, 건물 밖에서는 약 300 m 거리 이내에서 기본 단위 모듈을 구성하여 통신을 수행한다. 일반적으로 최종 구조반응 데이터는 시공 단계에서는 그림 2의 ②의 루트로 시공 현장 사무소가 Master node가 되어 일괄적으로 CDMA를 통해

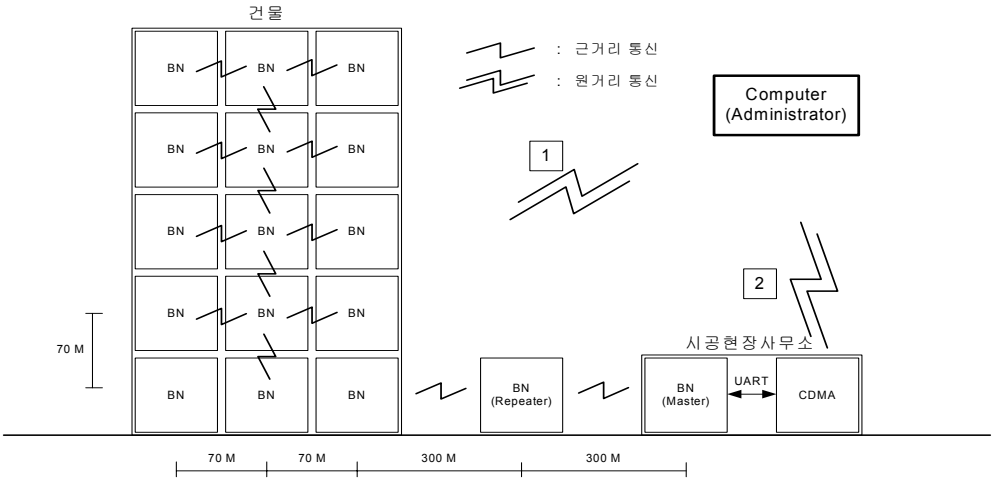


그림 2 대형 건물 무선 센서 네트워크 구성

관리자에게 전달되고, 완공 단계 및 필요에 따라서는 건물 내에서 직접 1의 루트로 Base node가 Master node가 되어 CDMA를 통해 관리자에게 전달된다.

4. 결론

본 논문에서는 구조 부재, 칸막이 벽, 외장재 등의 장애물에 대해서 회절성이 뛰어나고 전파의 간섭이 상대적으로 작은 저주파 대역의 무선 라디오 주파수를 도입하고, 이로부터 대형 건물에서의 실제 적용이 가능한 무선 센서 네트워크를 구성해 보았다. 다른 주파수 대역의 센서 네트워크 시스템과 비교하여 비교적 건물의 적용성이 효과적일 것으로 판단되며 추후 실제 건물 적용으로부터 그 성능을 검증하도록 하겠다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년도 첨단도시개발사업(과제코드:07도시재생B03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Park, H.S., Sohn, H.G., Kim, I.S., Park, J.H. (2008) Application of GPS to monitoring of wind-induced responses of high-rise buildings, *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 17, pp.117-132.

Sridhar, S., Ravisankar, K., Sreeshylam, P., Parivallal, S., Kesavan, K., Murthy, S.G.N. (2008) Remote structural health monitoring of civil Infrastructures - Recent trends, *International Journal of COMADEM*, 11(1), pp.25-35.

Jang, W.-S., Healy, W.M., Skibniewski, M.J. (2008) Wireless sensor networks as part of a web-based building environmental monitoring system, *Automation in Construction*, 17(6), pp.729-736.