

무선 센서 네트워크 기반의 빌딩 모니터링 시스템 개발

장형준, 김재우, 장경배, 심일주, 박귀태  
고려대학교 전자전기공학과

Development of a Building Monitoring System based on Wireless Sensor Network

Hyeong-Jun Chang, Jae-Woo Kim, Kyung-Bae Chang, Il-Joo Shim, Gui-Tae Park  
Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Korea University

**Abstract** - 최근 이슈가 되고 있는 무선 센서 네트워크를 기반으로 빌딩 주변의 환경 정보를 감시하고, 실시간 관리가 가능한 시스템을 개발하였다. 센서에 의한 환경 정보는 빌딩의 안전감시와 진단 그리고 효율적 에너지관리를 위한 분석용 데이터로 사용된다. 이러한 환경 정보에는 온도, 습도, 진동, CO2 등과 같은 센서가 있으며, 이러한 센서들로부터 오는 환경 정보를 저전력, 저비용, 자가 구성이 가능한 무선 센서 네트워크기술을 이용함으로써 단기적으로는 빌딩의 안전진단이나 온, 습도와 같은 환경정보를 얻을 수 있으며, 장기적으로는 유지 보수의 비용문제를 효율적으로 줄일 수 있고, 실시간 정보 수집과 자가 구성에 의한 에너지 절감이 가능하다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 이용한 빌딩 모니터링 시스템을 정의하고, 시스템을 설계한 후 실험을 통하여 향후 무선 센서 네트워크의 빌딩 및 건축물의 적용 가능성을 검증하였다.

기술, RF설계기술 등의 발달은 무선 센서 네트워크 기술을 보다 유연하게 하였고, 이제는 이러한 기술을 적용한 지능적인 무선 센서들을 대량 생산하고 이용함으로써 무선 센서 네트워크가 넓은 범주에서 사용될 수 있도록 되었으며 미래에 상용화 될 수 있는 새로운 종류의 응용 서비스를 제공할 것으로 예측된다.

1. 서 론

현재 무선 센서 네트워크를 인텔리전트 빌딩이나 스마트 홈에 적용하기 위한 연구가 진행 중이다. 스마트한 센싱을 필요로 하는 빌딩 모니터링 분야에 적용한 사례는 드물다. 빌딩 내의 모든 환경 정보를 수집하여 어플리케이션에 적용함으로써 전체적인 에너지 절감을 얻을 수 있을 것으로 기대되며, 향후 대폭적인 하드웨어의 가격하락은 인텔리전트 빌딩이나 스마트 홈의 지능화를 더욱 가속화 시켜줄 것으로 기대된다.

빌딩의 환경 정보(온도, 습도, 진동, CO2, 가스 등)는 빌딩을 관리하고 감시하고, 유지하는데 필수적인 요소들이다. 구조적인 문제를 위한 균열정보 및 화재예방을 위한 가스나 온도 정보, 쾌적한 환경을 위한 CO2 정보나 에너지 절약을 위한 온도 및 조도 정보 등은 인텔리전트 빌딩이 되기 위한 필수 조건이다 [1]. 하지만 이러한 정보를 수집하고 체계적으로 관리하는 시스템은 비용 등의 문제로 인해 연구된 바가 없다. 이러한 센서들의 정보는 각 시스템에 종속적이며, 유선으로 되어 있어서, 급변하는 빌딩 내의 레이어 변화에 최적일 수가 없다. 따라서 가격이 저렴한 무선 센서 네트워크를 이용하여 이러한 센서들을 빌딩 내의 적절한 곳에 설치하고, 스스로 경로를 찾아서 그 위치의 센서 정보를 실시간으로 받는 빌딩 모니터링 시스템을 개발할 필요가 있다 [2].

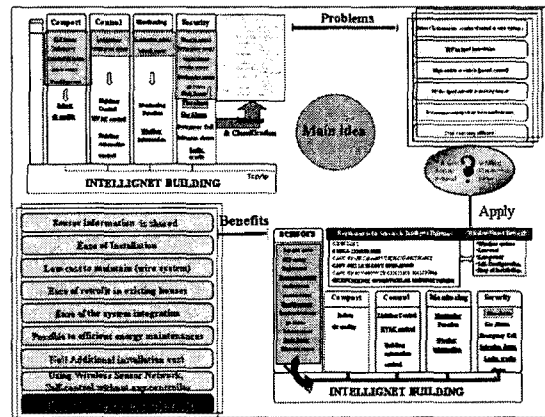
따라서 제안하는 빌딩 모니터링 시스템은 빌딩의 주변 온도, 습도, CO2 등과 같은 환경정보와 균열이나 화재와 같은 리스크 정보를 저전력, 저비용, 자가 구성이 가능한 무선 센서 네트워크기술을 이용함으로써 단기적으로는 빌딩의 안전진단이나 온, 습도와 같은 환경정보를 얻을 수 있으며, 장기적으로는 유지 보수의 비용문제를 효율적으로 줄일 수 있고, 실시간 정보 수집 및 신속한 대응과 자가 구성에 의한 에너지 절감이 가능한 시스템이라고 정의한다. 이 시스템은 타 시스템과의 연계를 고려하여 빌딩 자동화 시스템 중 하나의 시스템으로 구성하였으며, 센서들의 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있고, 웹을 통한 접근도 가능하며, 관리자가 휴대용 PDA나 SMS를 통한 위험 상황 통보 및 센서들의 위치를 파악하는 것도 가능하다. 또한 센서들의 정보는 데이터베이스에 저장되어 있기 때문에, 각 센서 값들의 변화량 및 특정 지역의 모든 환경 정보를 모니터링 하고 분석함으로써 빌딩의 에너지 소모량을 예측할 수도 있다. 이러한 센서들의 정보는 센서를 필요로 하는 다른 시스템과 연계되어 활용될 수도 있으며, 센서 자체적인 지능화로 인텔리전트의 대표적인 공조시스템인 바닥공조, 개별 난방 시스템의 온도별 재실자의 안락함을 위한 FTU (Fan Terminal Unit) 제어와 같은 간단한 제어는 어떠한 제어 시스템 없이도 스스로 가능하고, 이로 인한 비용이나 에너지 절감을 가져올 수 있다 [3].

2 장에서는 현재의 빌딩의 환경정보 수집에 관한 내용을 언급하고, 무선 센서 네트워크의 특징과 적용범위를 정의한다. 3장에서는 빌딩 모니터링 시스템을 설계하고, 4장에서 실험을 통하여 무선 센서 네트워크를 이용한 빌딩 모니터링 시스템의 적용가능성을 검증하고 결론을 맺는다.

2. 빌딩의 모니터링과 무선 센서 네트워크

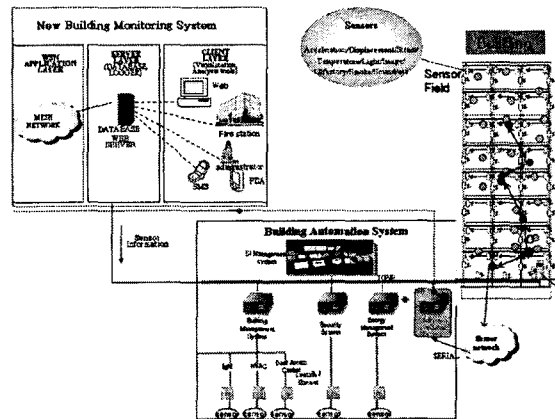
2.1 빌딩 모니터링 시스템

인텔리전트 빌딩의 모니터링 시스템의 정확한 솔루션은 명확하게 정의되어 있지 않다. 즉 빌딩의 환경 변수(센서로 받을 수 있는 모든 정보)만을 모니터링 했던 경험이나 연구는 보고된 바가 없다. 왜냐하면 필요한 센서 값을 실시간으로 받을 수 있는 저가이면서 오랫동안 작동이 가능한 솔루션이 없었기 때문이다. 그러나 센서 기술, MEMS 기술, 저전력 전자 공학



<그림 1> 아이디어

하지만 관리가 되고 있는 빌딩에 무선 센서 네트워크를 적용하는 것은 쉽지 않다. 그러나 빌딩에서 에너지 절약과 제어 시스템에 결정적인 역할을 담당하는 부분이 센서라고 가정하면 모든 센서들의 정보를 통합 관리했을 경우 다른 센서들의 설치나 유지비용을 줄여서 전체적으로는 빌딩의 에너지를 절감할 수 있을 것이다. 빌딩 모니터링 시스템의 역할은 빌딩 주변의 환경정보(온도, 습도, 조도, 가스 등)를 감지하면서 무선 네트워크에 연동, 사용자가 실시간으로 건축물의 에너지 사용량을 분석하는 서비스를 제공할 수도 있고, 건물의 균열정보(진동, 가속도), 보안정보(적외선, 카메라), 화재정보(온도, 가스 등)와 같은 리스크 정보들을 감지하고 빠른 예방을 할 수 있다는 점에서 무선 센서 네트워크의 활용이 적극적으로 이루어져야 한다. 전체적인 시스템의 아이디어는 그림 1과 같다 [4].



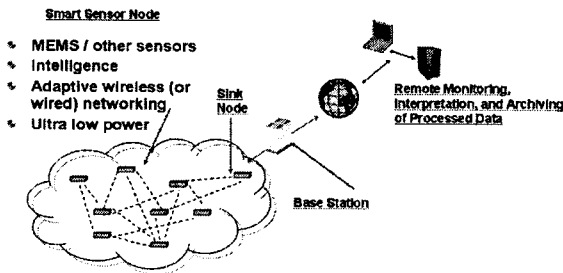
<그림 2> 빌딩 모니터링 시스템 구조

그림 2는 빌딩 모니터링 시스템의 구조를 나타낸다. 빌딩으로부터 센서 정보를 각 센서들의 정보를 받고, 데이터베이스에 저장한 후 TCP/IP를 통해서 PDA나 웹으로 보여줄 수 있다. 또한 데이터베이스에 저장된 정보는 다른 빌딩 자동화 시스템의 센서 입력으로 피드백 될 수 있다. 센서들의 정

보에 대한 긴박한 상황을 예측하였을 경우, 상황에 대처하기 위해 실시간으로 정보는 인근 파출소나 소방서에 전송이 가능하다. 또한 무선 센서들의 자율적인 네트워크로 인하여 스스로 제어하는 것도 가능하다. 마지막으로 센서의 기능이 종속적이지 않고, 전역적으로 사용이 가능한 것도 제한한 모니터링 시스템의 장점이다.

### 2.2 무선 센서 네트워크

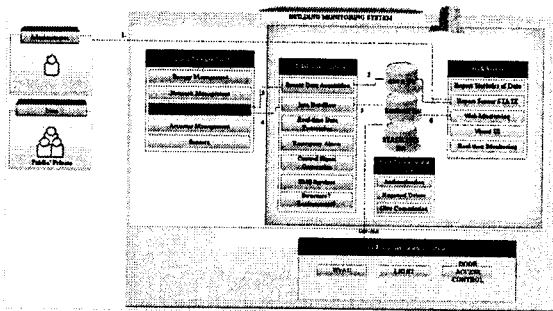
무선 센서 네트워크 기술은 광범위하게 설치되어 있는 유무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 물리적 대상을 추가시켜 하나의 네트워크를 형성하는 기술로서, 필요로 하는 모든 곳에 수많은 센서 노드들을 부착하여 자율적으로 정보를 수집, 관리 및 제어하는 시스템이다. 즉 그림 3과 같이 물리 공간의 빛, 소리, 온도, 조도, 움직임 등 과 같은 물리적 데이터를 센서 노드에서 감지하고 측정하여 중앙의 싱크 노드로 전달하는 구조를 가지게 된다. 무선 센서 네트워크는 크게 4가지의 특징이 있다. 확장성(Scalability), 저전력(Low-energy consumption), 자가 구성(Self-organization), 저비용(Low-cost)이 대표적인 무선 센서 네트워크의 특징이다. 이외에도 협동 프로세싱(Collaborative processing)과 온라인 (On-line Processing)도 무선 센서 네트워크의 중요한 특징이다 [5].



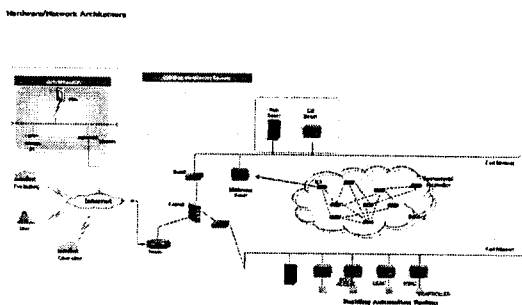
<그림 3> 무선 센서 네트워크

### 3. 빌딩 모니터링 시스템 설계

무선 센서 네트워크 기술을 적용한 빌딩 모니터링 시스템은 센서로부터 받은 미들웨어 부분과 데이터를 저장하는 부분, 실시간으로 데이터 정보를 전송하는 부분, 웹 페이지를 통해 출력하는 기능을 포함한다. 그림 4는 이러한 빌딩 모니터링 시스템의 어플리케이션 구성도이다. 그림 5는 시스템의 하드웨어/네트워크 구성도이다. 소프트웨어는 미들웨어를 포함한 서버부분은 자바를 이용하였고, 멀티 홉 트리구조 기반의 센서 모듈은 Nano\_q+를 이용하였다. 또한 웹 페이지 출력을 위하여 JSP, 데이터베이스는 my-sql을 이용하였다. 또한 PDA와 SMS 서비스는 랩톱과 자바를 이용하였다 [6].



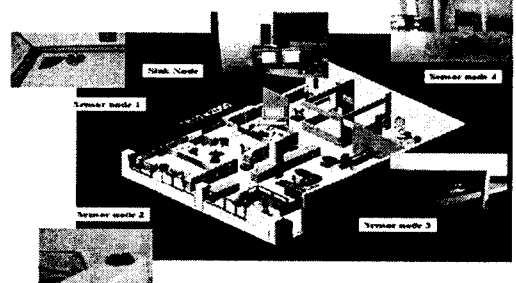
<그림 4> 빌딩 모니터링 시스템의 어플리케이션 구성



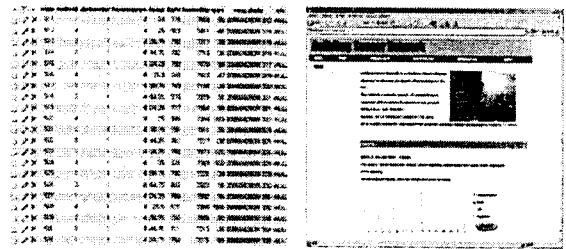
<그림 5> 빌딩 모니터링 시스템의 하드웨어/네트워크 구성

### 4. 구현 및 실험 결과

제한한 빌딩 모니터링 시스템을 구현하고, 그 결과를 분석함으로써 제한한 시스템의 효율성을 살펴본다. 실제 빌딩의 상황과 최대한 비슷한 조건의 실험을 위하여 한국 건설 기술 연구원의 스마트 공간을 이용하여 실험을 진행하였다. 무선 센서 네트워크 기술을 이용한 빌딩 모니터링 시스템의 적용가능성을 검증하기 위하여 크게 무선 센서 네트워크의 자가 구성 및 데이터 정보 취합 그리고 가스 유출 시나리오를 가정한 시스템의 신속한 대응과 온도 분포에 따른 지능적인 개별 FTU 제어를 실험하였다. 그림 6은 센서들의 자가 구성을 위한 스타 토폴로지 배치를 나타내었고, 그림 7은 센서들의 정보를 받아서 웹으로 출력한 모습을 나타내었다.



<그림 6> 빌딩에 무선 센서 네트워크 적용



<그림 7> 빌딩 모니터링 시스템의 웹 출력

센서들의 무분별한 배치를 고려한 트리 구조의 멀티 홉 라우팅을 센서 노드를 추가함으로써 시스템이 인식할 수 있도록 설계 구현하였고, 센서가 추가될 경우 시스템에서 추가된 센서의 정보를 로깅할 수 있도록 하였다. [7]또한 가스가 누출되었을 경우 SMS로 누출된 정보를 관리자에게 보내줄 수 있으며, PDA로도 정보를 보내줌으로써 관리자의 신속한 대응이 가능하도록 하였다. 센서들의 이러한 정보는 가스누출이 어디서부터 이루어졌는지, 혹은 온도가 어디서 급격히 증가했는지를 판단할 수 있어서 화재의 초기발생지역 및 균열이나 흔들림의 초기발생지역을 판단할 수 있는 확실한 근거 자료로도 활용이 가능하다.

### 5. 결 론

최근 이슈가 되고 있는 무선 센서 네트워크 기술을 빌딩의 환경 정보를 수집하는데 적용하였다. 또한 이러한 환경 정보들이 빌딩의 유지 및 관리에 목적으로 활용될 수 있는 빌딩 모니터링 시스템을 제안하고 구현하였다. 제안한 시스템은 무선 센서 네트워크 기술의 특성을 충분히 활용하여 설계하였으며, 실험을 통해서 빌딩에서의 활용 가능성을 검증하였다. 향후 기술의 발달로 인한 저가, 소형화의 센서 노드의 개발은 다양한 센서 정보 수집을 가능하게 할 것이므로, 제안한 시스템과 같은 다양한 어플리케이션의 활용이 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Michael Kintner-Meyer, PH.D. "Wireless Technology for In-Building HVAC Sensing and Control Applications" July 2, 2003
- [2] Sensors in Intelligent Buildings, volume 2, WILEY-VCH
- [3] Allan Daly "Underfloor Air distribution :Lessons Learned" ASHREA Journal 2002.5
- [4] Kurata, N., Spencer, B. F. Jr., Ruiz-Sandoval, M., Miyamoto, Y., and Sako, Y., 2003b, "A Study on Building Risk Monitoring Using Wireless Sensor Network MICA-Mote," in Proceedings of the International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure, Tokyo, Japan, November 13-15, Vol. 1, 353-357
- [5] I. F. Akyildiz et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE Comm., vol. 40, no. 8, 2002, pp. 102-114.
- [6] Wendi B. Heinzelman y, Amy L. Murphy z, Hervaldo S. Carvalho, and Mark A. Perillo y "Middleware to Support Sensor Network Applications" IEEE Network, 18(1): pp 6-14 Jan 2004
- [7] Deepak Ganesan, Ramesh Govindan "Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks" MobiHoc 2001: 251-254