

무선 센서네트워크를 이용한 건축물 모니터링 시스템 구현

Development of an Architecture Monitoring System Using Wireless Sensor Network

장형준, 심일주*, 김범수, 공영배, 박귀태
(Hyung-Jun Chang, Il-Joo Shim, Beom-Soo Kim, Young-Bae Kong, and Gwi-Tae Park)

Abstract : Environmental information (temperature, humidity, vibration, CO₂, gas leakage, etc.) of building is an essential item to manage and monitor a building. For intelligent building, it is necessary to get temperature and illumination information to save energy and crack information to prevent structural problems. Moreover, temperature and gas leakage information to alarm a fire precaution, or humidity information to maintain comfortable environment. However, there have not been many researches on systems for gathering environmental information and building maintenance due to high costs. In this paper, wireless sensor network technology is applied to collecting building environmental information. Wireless sensor network is one of the latest issues and has low-power consumption, low-cost, self-configuration features.

Keywords : wireless sensor network, monitoring, control, architecture, building

I. 서론

유비쿼터스 환경의 시스템 구현을 위한 IT 인프라의 구축은 계측 및 제어 대상의 정보를 취득하는 시스템의 기반 요소인 센서 기술에 의해서 그 성능이 크게 달라질 수 있다. 따라서 이와 같은 IT 인프라를 구축하기 위하여 유비쿼터스 환경을 구성하는 초소형, 초 저전력 센서 소자들의 통신 네트워크 기술이자 자율적인 센싱과 통신 플랫폼 능력을 갖춘 무선 센서 네트워크 기술이 요구되고 있다.

무선 센서 네트워크 기술은 센서기술과 통신기술의 1차적인 융합에 이어 제조기술인 SOC(System-on-Chip), MEMS(Micro-Electronic-Mechanical Systems) 기술 등이 복합적으로 융합된 기술이며, 사용자의 상황에 맞는 컴퓨팅 환경을 지능적으로 구성하기 위해 센싱 기술을 사용하여, 사용자가 인지 못하는 지능적인 네트워크 환경을 형성하고 이를 기반으로 상호 협력해서 인간중심의 서비스를 창출하고, 빠른 기술혁신과 고성장을 견인할 수 있는 차세대 핵심 기술이라고 할 수 있다[1].

이러한 무선 센서 네트워크 기술은 여러 가지 응용 분야에 적용이 가능하다. 대표적인 응용 분야는 생태 모니터링 분야와 군사 서비스 분야이며, 빌딩 및 산업 자동화 분야와 헬스케어 분야 등으로 확대되고 있다. 인텔리전트 빌딩 시스템에서의 빌딩 자동화 기술은 기술적 통합과 에너지 절감을 목적으로 연구되고 있으며, 빌딩 자동화 시스템의 통합과 효율적인 시스템 관리를 위하여 하위 디바이스의 개별적인 제어가 가능하도록 제어 시스템과 IT와의 융합으로 발전하고 있다.

현재 무선 센서 네트워크를 인텔리전트 빌딩이나 스마트 홈에 적용하기 위한 연구가 진행 중이나, 스마트한 센싱을 필요로 하는 빌딩 모니터링 분야에 적용한 사례는 드물다.

빌딩 내외의 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 할 것으로 기대된다.

빌딩의 환경 정보(온도, 습도, 진동, CO₂, 가스 등등)는 빌딩을 관리, 감시하고 유지하는데 필수적인 요소들이다. 건물의 균열정보 및 가스 누출 정보, 쾌적한 환경을 위한 CO₂ 정보나 에너지 절약을 위한 온도 및 조도 정보 등은 인텔리전트 빌딩을 구축하기 위한 필수 조건이다.

제한한 시스템은 빌딩 자동화 시스템의 일부 기능을 구현하였으며, 센서로부터 받은 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있고, 웹을 통한 접근도 가능하며, 관리자가 부재중일 경우 PDA나 SMS를 통한 위험 상황 통보 및 센서 위치 파악도 가능하다.

또한 센서로부터 받은 정보는 데이터베이스에 저장되어 있기 때문에, 각 센서 값들의 변화량 및 특정 지역의 환경 정보의 분석이 용의하며, 빌딩의 에너지 소모량을 예측할 수도 있다. 이러한 센서정보는 다른 시스템과 연계되어 활용될 수도 있다. 바닥공조 및 개별난방 시스템의 FTU(Fan Terminal Unit)제어와 같은 간단한 제어는 특별히 제어시스템을 설치하지 않고도 가능하며 이로 인한 비용과 에너지의 절감을 가져올 수 있다.

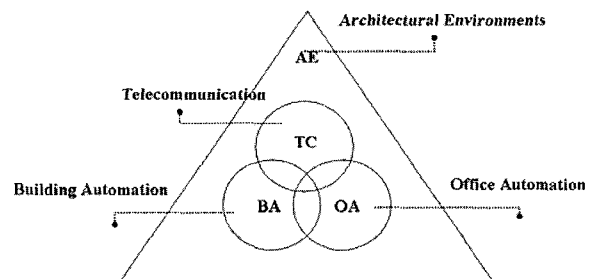


그림 1. 인텔리전트 빌딩의 개념.

Fig. 1. The concept of intelligent building.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 1. 25., 채택확정 : 2007. 2. 17.

장형준, 공영배, 박귀태 : 고려대학교 전자전기공학과

(variety1@korea.ac.kr/ybkong@korea.ac.kr/gtpark@korea.ac.kr)

심일주 : 대림대학 자동차과(ijshim@daelim.ac.kr)

김범수 : 국립경상대학교 기계항공공학부(kimbs@gsnu.ac.kr)

II. 건축물 모니터링 시스템

1. 기존의 빌딩 모니터링 시스템

빌딩에는 제어 시스템과 보안, 감시, 그리고 재실자의 편의를 위한 시스템이 개별적으로 동작하고 있다. 이러한 시스템은 각각 자신들의 독립적인 센서 시스템을 사용하고 있음을 알 수 있다. 그림 2에서는 기존의 빌딩 보안 시스템에서 동작하는 여러 가지 기능들이 응용분야(감지, 관찰)등에 따라 어떠한 센서들을 사용하고 있는지를 잘 나타내고 있다.

실제로 개별공간의 환경제어에 필요한 개별공간제어기(ZCU: Zone Control Unit), 자동제어 시스템용 정보수집처리용 제어기인 정보수집제어기(DDC: Direct Digital Controller), 에너지 사용량의 감시 및 관리 기능을 가지는 에너지관리기(EMC: Energy Management Controller) 등의 기능을 하는 제어기는 현재 전용 센서와 전용 통신방식을 가지고 있다[2].

2. 기존 모니터링 시스템의 문제점

기존의 시스템은 다음과 같은 몇 가지 문제점을 가진다.

첫째, 센서를 설치하여도 유선기반의 시스템이므로 케이블의 제한을 받게 된다. 둘째, 레이아웃 변경 시 추가적인 케이블 작업으로 인한 비용이 발생된다. 이러한 케이블의 누수 문제 발생 시에는 유지보수가 필요하게 되는데, 결국 비용이 발생 되고 중, 장기적으로 봤을 때 유지비용의 증가를 가져온다. 셋째, 전력 소모가 크고, 라우팅의 제한을 받는다는 문제점도 있다. 넷째, 다양한 어플리케이션을 적용하기 위한 프로그램작성 및 디버그가 어려우므로 어플리케이션 개발기간이 길고, 문제 발생시 대처가 어렵다. 다섯째, 제한된 종류의 시스템에만 적합하도록 구성되어 있기 때문에 상이한 시스템에서는 확장성을 보장받지 못한다. 따라서 사용자에게 제한된 서비스만을 제공하게 된다. 여섯째, 네트워크의 자원의 낭비 문제가 발생한다. 마지막으로 유선 케이블은 금속에 의한 손실 및 주파수 산란으로 인하여 사용 범위 및 전송속도가 제한되어 있고, 한정된 주파수 대역을 가진다는 것이다[3].

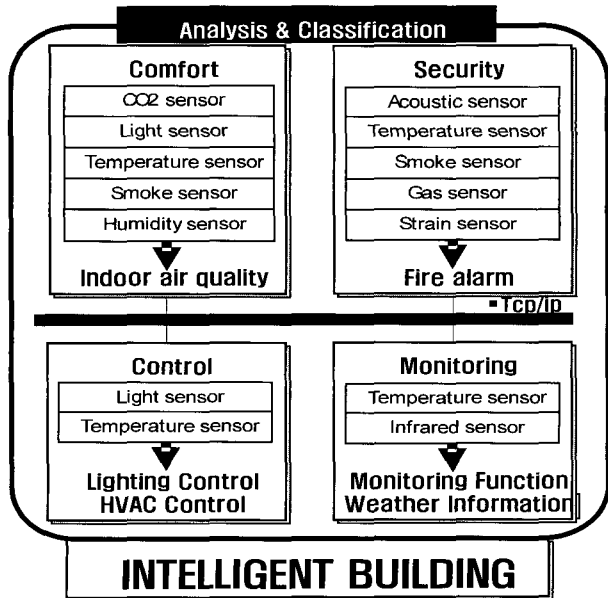


그림 2. 기존의 빌딩 모니터링 시스템.
Fig. 2. Current building monitoring system.

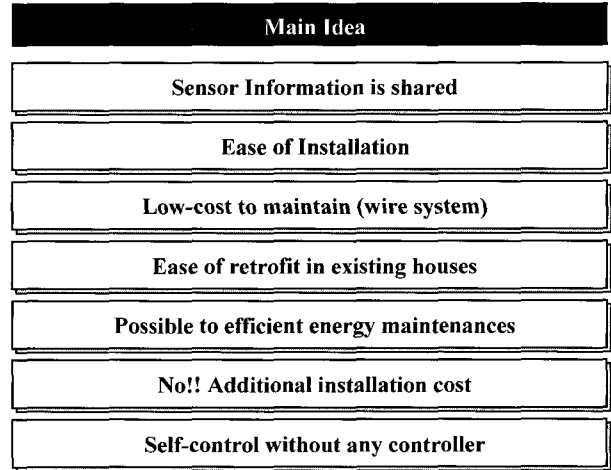


그림 3. 제안한 빌딩 모니터링 시스템의 아이디어.
Fig. 3. The main idea of proposed building monitoring system.

3. 제안하는 빌딩 모니터링 시스템

센서 기술, MEMS 기술, 저 전력 전자 공학 기술, RF설계기술 등의 발달과 병행하여 기본적인 컴퓨팅 시스템의 개발과 사용이 오랜 기간 동안 진행되었다. 이러한 기술을 적용함으로써 무선 센서 네트워크가 넓은 응용시스템에 사용될 수 있는 환경이 마련되었으나, 기존의 빌딩 모니터링 시스템에 제안하는 센서네트워크 기술을 적용하기는 쉽지 않다.

하지만 빌딩에서 에너지 절약과 제어 시스템에 결정적인 역할을 담당하는 부분이 센서라고 가정하면 센서들의 정보를 통합 관리했을 경우 추가로 센서의 설치 없이도 유지비용을 줄여서 전체적으로는 빌딩의 에너지를 절감할 수 있을 것이다. 빌딩 모니터링 시스템의 역할은 빌딩 주변의 환경정보(온도, 습도, 조도, 가스)를 감지하면서 무선 네트워크에 연동하는 것이다. 사용자는 실시간으로 건축물의 에너지 사용량을 분석하는 서비스를 제공받을 수도 있고, 건물의 균열정보(진동, 가속도), 보안정보(적외선, 카메라), 화재정보(온도, 가스)등과 같은 리스크 정보들을 감지하고 빠른 예방을 할 수 있다. 이런 점에서 무선 센서 네트워크의 활용이 적극적으로 이루어져야 한다. 전체적인 시스템의 아이디어는 그림 3과 같다.

III. 무선 센서 네트워크

무선 센서 네트워크는 크게 4가지 특징을 가진다. 확장성(scalability), 저전력(low-power consumption), 자가구성(self-configuration), 저비용(low-cost)이 대표적인 무선 센서 네트워크의 특징이다.

이외에도 협동 프로세싱(collaborative processing)과 온라인 프로세싱(on-line processing)도 무선 센서 네트워크의 중요한 특징이다[4].

이러한 센서 네트워크의 특징은 정확한 정보를 보다 신속하게 전송한다는 데 있다. 또한 센서가 배치되는 지역이 물리적 환경이 많이 열악하고 가변적인 곳일 수 있으므로 장애 허용성이 둔감하게 된다. 외부에서는 베이스 스테이션을 통해 접근하므로, 시스템 내부의 접근이 용이하고, 빌딩이나 가정 및 오피스에서 재실자가 원하는 환경을 구축하는 것이 용

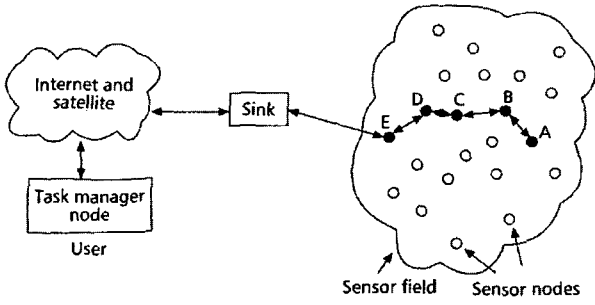


그림 4. 무선 센서 네트워크 기술.
Fig. 4. Wireless sensor network technology.

표 1. 무선 센서 네트워크의 특징과 장점.

Table 1. Characteristics and advantages of wireless sensor network.

Characteristics	Advantages
Self-Organizing	Accuracy
Low-Cost	Fault tolerance
A large number of nodes	Remote access to data
Collaboration among nodes	Environmental Monitoring
Low energy consumption	Saving Energy
Online processing of obtained information	Saving networking costs

이해진다. 비용 면에서는 저 전력을 소비한다는 점과 설치 및 유지보수가 쉬운 장점이 있다. 무선 센서 네트워크의 특징과 장점이 표 1에 나타나있다.

IV. 건축물 모니터링 시스템 설계

1. 전체 시스템 구조

제안한 빌딩 모니터링 시스템의 전체 구조는 그림 5와 같다. 빌딩으로부터 센서 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. 긴급 상황을 센서 정보로부터 예측하였을 경우, 실시간으로 인근 파출소나 소방서에 전

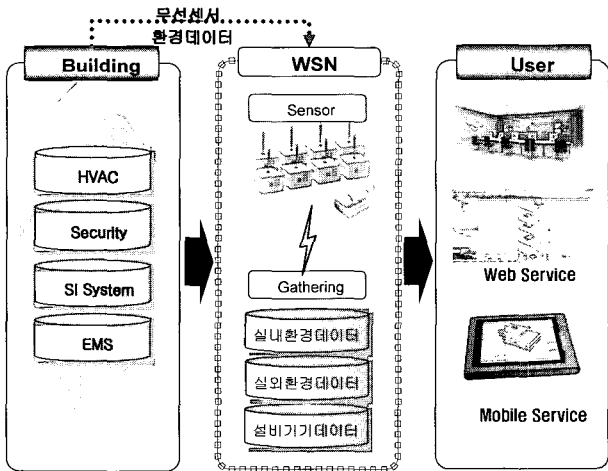


그림 5. 빌딩 모니터링 시스템의 전체 구조.
Fig. 5. The Architecture of building monitoring system.

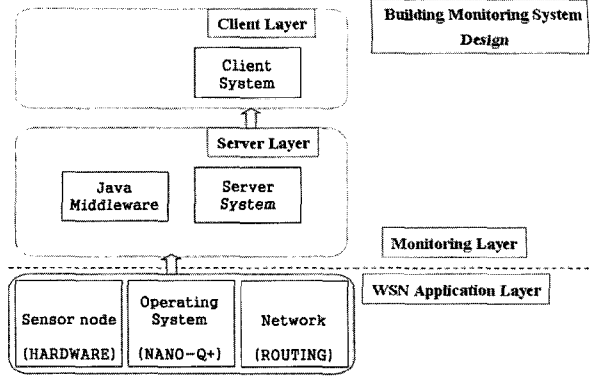


그림 6. 계층별 구조.
Fig. 6. The architecture of layers.

표 2. 계층별 소프트웨어.

Table 2. The software of layers.

WSN Application Layer	Server Layer	Client Layer
Nano_q+	Runs on PC	Window Application, Win CE
C	Java	Java applet, eVC
Multi-hop routing(Tree)	Data logging to file or Database	Monitoring and management of sensor network
Fast formation	Alert detection	Sensor data visualization

송이 가능하다. 또한 무선 센서들의 자율적인 네트워크로 인하여 스스로 제어하는 것도 가능하다. 마지막으로 센서의 기능이 종속적이지 않고, 전역 적으로 사용이 가능한 것도 제안한 모니터링 시스템의 장점이다.

2. 기술적 설계

제안한 빌딩 모니터링 시스템의 기술적 설계에 대하여 살펴본다. 그림 6은 시스템의 계층별 구조를 나타낸다. 시스템은 총 2개의 큰 계층으로 분류되고, 하위 계층은 다시 3개의 계층을 갖도록 설계하였다.

시스템의 계층별 구조는 각각의 소프트웨어 구조를 가진다. 표 2는 계층별 소프트웨어 구조이다.

3. 시스템 설계

그림 7은 빌딩 모니터링 시스템의 어플리케이션 구조를 나타낸다. 시스템의 우측에 있는 부분이 모니터링을 담당하고 있는 메인 시스템이다. 무선 센서 네트워크 계층에서 센서들의 데이터를 수집하고, 저장하고, 데이터베이스에 입력하고, 경로나 문자서비스를 가능하게 해주는 미들웨어를 설계하였다. 또한 각 센서들의 정보를 저장하고, 관리자마다 다른 권한을 주기 위한 관리자 정보와 센서들의 정보를 분석하고 통계를 하기 위한 데이터베이스도 필요하다. 그리고 웹으로 정보를 보여주고, 모니터링을 하기 위한 웹 서버와 권한을 인증할 필요가 있는 사용자 관리 시스템이 포함된다. 이러한 데이터베이스 시스템의 센서 정보는 기존의 빌딩 자동화 시스템에서 응용될 수 있다[5].

빌딩 모니터링 시스템의 하드웨어 구성은 그림 8과 같다. 웹을 통하여 공공기관, 사용자 및 관리자로부터 접근이 가능하고, 시스템 내부 역시 Fast Ethernet이 연결되어 있다. 빌딩

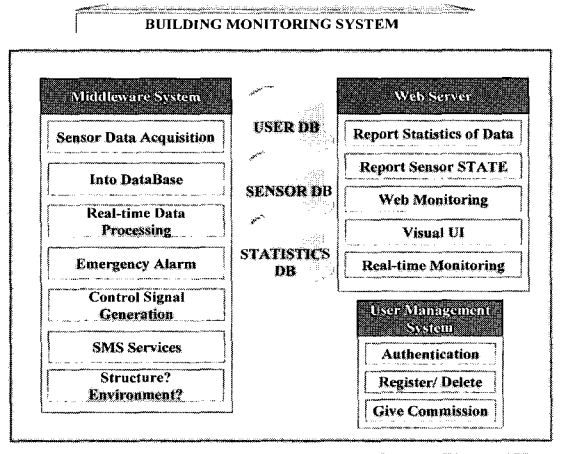


그림 7. 빌딩 모니터링 시스템의 어플리케이션 구성.
Fig. 7. The structure of application system.

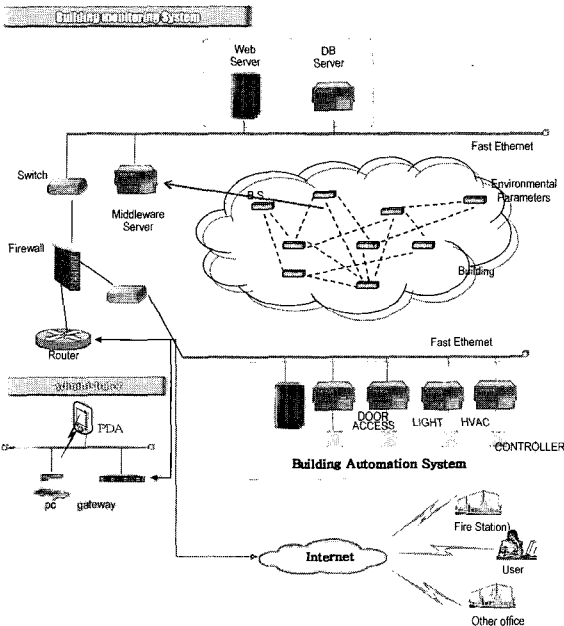


그림 8. 하드웨어/네트워크 구성.
Fig. 8. The structure of hardware and network.

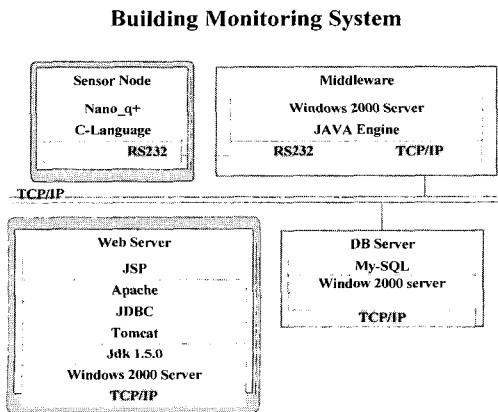


그림 9. 소프트웨어 시스템 구성.
Fig. 9. The structure of software.

이 점점 지능화 되어 갈수록 빌딩 자동화 시스템의 통합과 유연성을 위해 단위 디바이스 레벨로의 TCP/IP 통합이 고려되고 있다. 따라서 빌딩 내부의 Fast Ethernet을 통한 빌딩 자동화 시스템 역시 하드웨어의 구성에 종속시켰다.

무선 센서 네트워크를 이용한 센서들의 정보를 미들웨어에서 저장 및 처리하여 Fast Ethernet으로 다른 시스템과의 연동을 가능하게 하였고, 중요한 설계 포인트는 기존의 빌딩 자동화 시스템에서 이러한 정보를 Fast Ethernet을 통하여 연동시켰을 경우 발생하는 비용의 감소를 가져온다는 것이다. 에너지 절약과 재실자의 보다 편리한 생활을 위한 인텔리전트 빌딩은 기존의 빌딩 자동화 시스템의 종속적인 센서들로부터 오는 정보를 수집하고 관리할 필요가 있다. 즉 무선 센서 네트워크를 이용한 센서들의 보다 정확한 정보를 공유함으로써 추가적인 센서설치 비용을 억제하는 효과가 있고, 장기적으로는 유지 보수가 쉬운 장점이 있다.

그림 9는 소프트웨어 구성을 나타낸 것이다. PDA는 랩뷰 PDA 모듈을 이용하였고 SMS 서비스는 SK 텔레콤의 서버를 이용하였다.

서버는 일반적으로 리눅스 기반의 시스템을 많이 사용하고 있지만, 본 논문에서는 윈도우 어플리케이션 개발에 중점을 두고 있으므로, 윈도우 기반의 시스템 중심으로 설계하였다.

미들웨어 시스템은 자바 기반으로 프로그래밍 하였다. 자바는 네트워크에 최적화된 언어로서 대표적인 객체 지향 언어이다. 또한 플랫폼 독립적이며, 멀티 쓰레드를 지원하고 동적인 프로그래밍에 강점을 갖는다. JSP(Java Server Page)는 자바에서 파생된 서버 기반의 웹 프로그래밍 기술이다. 가장 큰 장점은 한번 작성된 프로그램은 여러 플랫폼에서 수정 없이 사용이 가능하다는 특징이 있다.

V. 구현 및 실험 결과

제안한 빌딩 모니터링 시스템을 구현하고, 그 결과를 분석함으로써 제안한 시스템의 효율성을 살펴본다. 실제 빌딩의 상황과 최대한 비슷한 조건의 실험을 위하여 한국 건설 기술 연구원의 스마트 공간을 이용하여 실험을 진행하였다.

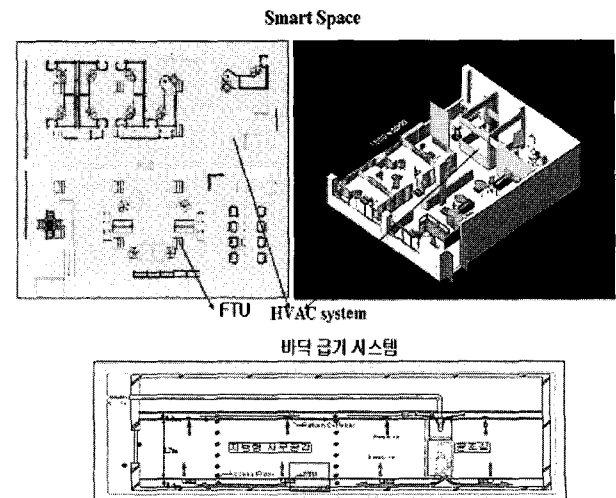


그림 10. 건축물에 무선 센서 네트워크 적용.
Fig. 10. Wireless sensor network system implemented in a building.

표 3. 실험에 사용된 하드웨어.

Table 3. Hardware list.

Spec Layer	specification			
Wireless Sensor Network	1 actuator	4 Sensor		1 sink
	DC relay	Gas + Light + Humidity + Temp		B.S
Server	Web Server	DB	Middleware	-
	Apache	My-SQL	Java	-
Client	PDA	Web	Cellular	-
	HP 5450	Window XP	SKT	-
For SELF-CONFIGURATION	KICT			
	FTU			

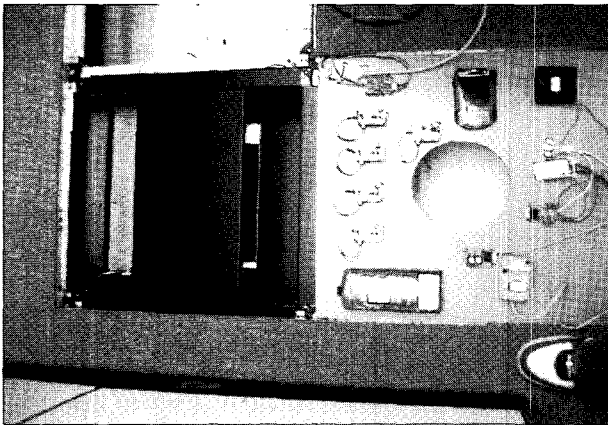


그림 11. 실험에 사용된 센서 네트워크 노드들.

Fig. 11. Sensor network nodes.

스마트 공간에서 사용한 하드웨어 사양은 표 3과 같다.

실험에 사용된 하드웨어는 그림 11과 같다.

무선 센서 네트워크 기술을 이용한 빌딩 모니터링 시스템의 적용가능성을 검증하기 위하여 크게 두 가지의 실험을 하였다. 첫째, 무선 센서 네트워크의 자가 구성 및 데이터 정보 취합 그리고 가스 유출 시나리오를 가정한 시스템의 신속한 대응 실험. 둘째, 온도 분포에 따른 지능적인 개별 FTU 제어를 실험하였다. 그림 10은 빌딩에 센서 네트워크를 적용한 모습을 나타내었고, 그림 12는 센서 정보를 받아 웹으로 출력한 모습을 나타내었다.

센서들의 무분별한 배치를 고려한 트리 구조의 멀티홉 라우팅을 센서 노드를 추가함으로써 시스템이 인식할 수 있도록 설계 구현하였고, 센서가 추가될 경우 시스템에서 추가된 센서의 정보를 인식할 수 있도록 하였다[6]. 또한 가스가 누출되었을 경우 SMS로 관리자에게 전송할 수 있으며, PDA로도 정보를 전송함으로써 관리자의 신속한 대응이 가능하도록 하였다. 센서들의 이러한 정보는 가스누출이 어디서부터 이루어졌는지, 혹은 온도가 어디서 급격히 증가했는지를 판단할 수 있어서 화재의 초기발생지역 및 균열이나 흔들림의

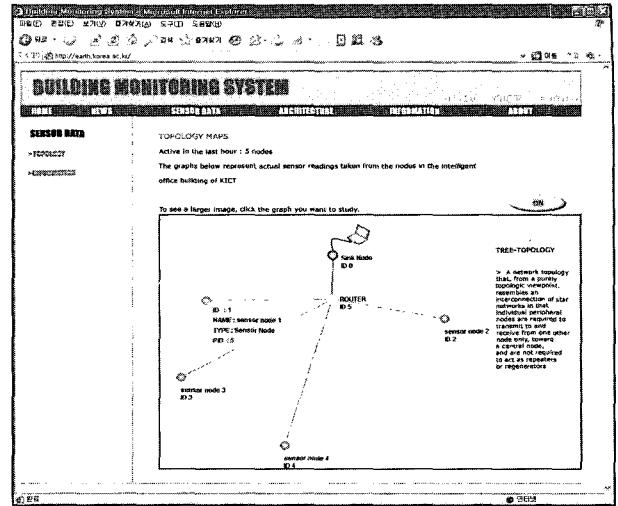


그림 12. 건축물 모니터링 시스템 내의 웹 출력 화면.

Fig. 12. Web-based building monitoring system.

초기발생지역을 판단할 수 있는 확실한 근거 자료로도 활용이 가능하다.

VI. 결론

본 논문에서는 최근 이슈가 되고 있는 저 전력(low-power), 저 비용(low-cost), 자가 구성(self-configuration)의 무선 센서 네트워크 기술을 빌딩의 여러 환경정보(온도, 습도, 균열 등)를 수집하는데 적용해 보았다. 지금까지의 빌딩의 설비 및 관리 는 센서를 이용한다고 하지만 수동적인 검사 중심의 경험적 관리였다. 또한 지능형 빌딩의 자동화 시스템의 센서들도 각각의 시스템에 종속적이었다. 따라서 무선 센서 네트워크 기술을 이용하여 빌딩의 환경정보를 수집, 저장 및 분석할 수 있는 빌딩 모니터링 시스템을 제안하고 구현하였다.

네트워크 구조는 센서로부터 전송되는 정보를 통해 스스로 구성되고, 제어가 가능하도록 스타 및 트리 구조로 구성하였고, 각 센서 정보는 실시간으로 전송되는 것을 확인하였다. 또한 기존 유선 시스템의 측정 자료를 통하여 무선 센서로부터 전송된 값의 정확성을 검증할 수 있었다. 그리고 외부 접속을 통해서도 원하는 시간의 센서정보와 실시간 토폴로지 구성에 관한 정보도 확인할 수 있었다. 마지막으로 데이터의 실시간성을 확인하기 위해 화재일지도 모르는 극단적인 상황을 가정하고, PDA로 센서 정보와 함께 위험신호가 전송됨을 확인함으로써 모니터링 시스템으로서의 기능을 확인할 수 있었다. 무선 센서 네트워크 기술을 이용한 빌딩의 환경 정보를 모니터링 하는 시스템은 여러 면에서 최소의 비용으로 최대의 에너지 절약이 가능한 시스템임을 다양한 실험을 통하여 확인하였다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz et al., "A survey on sensor networks," *IEEE Comm*, vol. 40, no. 8, pp 102-114, 2002.
- [2] www.baskorea.com
- [3] "Sensors in Intelligent Buildings," volume 2, WILEY-VCH.
- [4] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges," *Proc IEEE*. vol. 91, no. 8, pp

1247-1256, 2003.

[5] W. B. Heinzelman y, A. 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.

[6] D. Ganesan, Ramesh Govindan “Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks” *MobiHoc 2001*: 251-254.



장형준

2005년 고려대학교 제어계측공학과 졸업. 2005년~현재 고려대학교 대학원 전자전기공학과 석박사통합과정 재학중. 관심분야는 데이터베이스, 유비쿼터스 컴퓨팅 시스템.



심일주

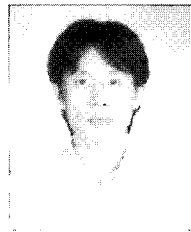
1987년 고려대학교 전기공학과. 1989년 고려대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 2005년 고려대학교 대학원 전기공학과(공학박사). 현재 대림대학 전임강사. 관심분야는 웹기반 원격제어, 지능형빌딩시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅.



김범수

1987년 고려대학교 전기공학과. 1989년 고려대학교 전기공학과(공학석사). 2002년 고려대학교 전기공학과(공학박사). 1989년~1998년 LG산전 연구소 선임연구원. 2002년~2003년 고려대학교 BK21 박사후과정 연구원. 현재 국립 경상대

학교 기계항공공학부 조교수.



공영배

2002년 고려대학교 전기공학과. 2002년~2005년 삼성전자. 2005년~현재 고려대학교 대학원 전자전기공학과 석박사통합과정 재학중. 관심분야는 센서네트워크, 임베디드 시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅 시스템.



박귀태

1947년 10월 25일생. 1975년 고려대학교 전기공학과(공학사). 1977년 고려대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 1981년 고려대학교 대학원 전기공학과(공학박사). 1981년~현재 고려대학교 전기공학과 교수. 관심분야는 지능형빌딩시스템,

최적제어이론.