

IT건설융합 스마트빌딩 기술

김형석
세종대학교

요 약

본고에서는 IT기술과 건설기술의 융합 기술로서 스마트빌딩 기술에 대해 서술한다. 고층 빌딩의 안전성 평가를 위한 건물구조 건전도 모니터링 기술, 빌딩 실내에 쾌적한 공기환경을 유지하기 위한 스마트 공기질/환기제어시스템 기술, 빌딩 설계부터 빌딩 사용단계까지 빌딩정보의 체계적인 데이터 관리를 위한 빌딩정보 모델링 기술과 빌딩 운영관리 인터페이스 기술 등에 대하여 소개한다. 또한, 세종대학교에서 개발한 프로토타입으로 빌딩에 설치하여 시험 중인 시스템에 대하여 설명한다.

1. 서 론

대한민국의 IT 기술은 전세계가 부러워하는 눈부신 성장을 이루었으며, 앞으로도 국가경쟁력의 핵심요소로 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 대한민국의 건설 기술 또한 국내 및 해외에서 고난이도 시공 및 완공에 성공하여 세계적인 기술력을 보여주고 있다. 이러한 대표적인 IT와 건설 기술은 상호 융합을 통해 세계 최고의 경쟁력을 지닌 신성장 산업 및 고부가가치의 건축물을 창출할 것으로 기대되고 있다.

IT건설융합은 기술 용도에 따라 크게 세가지로 분류될 수 있는데, 건설현장에서의 안전 및 효과적인 건설을 하기 위한 건설현장에서 사용되는 IT기술 융합, 빌딩 설계단계에서 사용되는 CAD와 같은 IT 기술과의 융합, 빌딩 건설시에 또

는 이미 건설된 빌딩에 센서 및 첨단기기를 설치하여 빌딩을 스마트화하는 IT기술 융합 등으로 분류할 수 있다.

이들 중 마지막으로 언급된 기술이 스마트 빌딩 기술로, 스마트빌딩은 빌딩 내에 네트워크를 갖추어야 하고, 수용층가에 따른 시스템 확장이 가능하며, 공기조절(환기), 조명, 방재, 전력 등을 자동으로 제어해 빌딩 내 각 시설을 효율적으로 운영하여 사용자들에게 쾌적한 환경을 제공하는 건축물로 본 고에서는 정의한다.

IT 기술과 건설 기술 각각은 국내에서 상당히 진보하였음에도 불구하고, IT건설 융합 기술 및 스마트 빌딩과 관련된 특허 등 핵심기술의 개발이 해외에서 주로 이루어지고 있고, 또한, 이와 관련한 우수한 기술 및 제품을 보유한 기업이 대부분 외국 기업으로 아직 국내에서는 IT건설융합 핵심기술 및 연구인력이 부족한 상황이다.

본 고에서는 IT건설융합기술 중 센서기술과 유무선 통신기술에 기반하는 기술로, 건설구조물 건전도 모니터링 (Structural Health Monitoring), 스마트 공기질/환기제어장치 시스템 (Smart Ventilation System)과 소프트웨어 기술과, 건설정보 기술에 기반하는 BIM (Building Information Modeling)과 스마트 빌딩 운영관리 시스템 등에 대하여 기술을 소개하고 기술 동향 및 연구개발 현황에 대해 서술한다.

II. 본 론

1. 건설구조물 건전도 모니터링

건물은 고층화, 대형화, 경량화되는 추세에 따라 지진 및

태풍에 취약할 수 있으며, 특히 대중이용시설 또는 공공시설물의 경우 대형 인명 피해가 발생할 수 있다. 사회기반시설 중 대형 건축구조물과 같이 안전성이 최우선으로 고려되어야 하는 구조물은 정확하고 정밀한 설계, 시공과 함께 안전한 사용성 확보를 위해 지속적이고 세심한 유지관리가 반드시 필요하다. 대형 구조물은 그 특성상 인력에 의한 점검이 어렵고, 긴 수명이 요구되는 건물은 데이터에 근거한 합리적 유지관리가 필요하다.

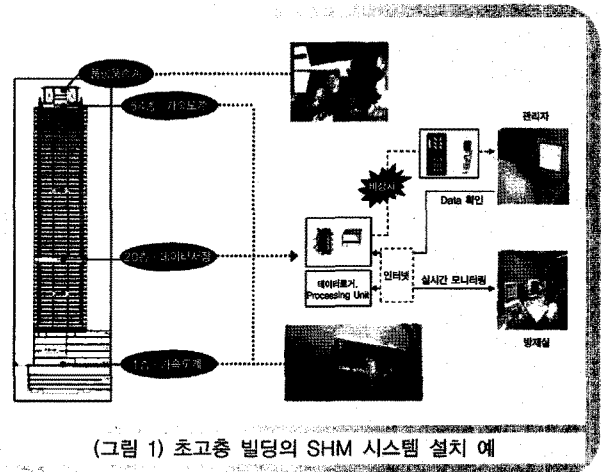
따라서, 첨단 계측시스템과 실시간 계측 및 분석 소프트웨어를 결합하여 구조물을 상시 모니터링하고 안전성을 평가하는 구조물 건전도 모니터링 (Structural Health Monitoring, 이하 SHM) 기술을 통해 이러한 문제에 대처할 수 있으며, 이는 IT와 건설 기술이 융합된 기술이다.

SHM 시스템은 몇가지 요소기술들로 구성되어 있다. 센싱 기술, 유무선 통신망 기술, 경보 및 유지관리 시스템 기술, 안전성 및 사용성 평가 모델링 기술 등이다. 센싱 기술은 지진 및 풍하중에 의한 진동, 건물의 기울기, 주요 부재의 이상 변위 등을 계측하기 위해 사용된다. 원래의 길이에 대해 변화한 길이 비율(변형율)을 측정하기 위하여, 빛의 간섭현상을 이용하는 장대광 센서 (Long Gauge Fiber Optic Sensor), 진동현의 진동수를 이용하는 진동센서, 광섬유 브래그 격자 (FBG) 센서 등을 사용한다. 변위 측정을 위하여 GPS (Global Positioning System)를 사용하며, 건물의 진동을 측정하기 위하여 가속도센서를 이용해서 수평, 수직 진동 수준을 평가한다. 이외에도, 바람이 건물과 부딪쳐 건물을 밀어내거나 건물 주위에 복잡한 소용돌이를 형성하며 흡입하는 힘에 의해 구조물에 미치는 수평력을 의미하는 풍하중을 측정하기 위하여 풍향풍속계를 사용할 수도 있다.

SHM 구축을 위한 유무선 통신 기술로서, WiFi, ZigBee 등의 무선통신 또는 RS-485와 같은 유선통신을 주로 사용한다. RS-485는 두 선 사이의 전압차로 데이터를 표현하며, 여러 개의 센서들이 동일 회선을 공유하는 멀티드롭 형태로 연결 가능하며 비교적 먼거리까지 전송이 가능한 통신방식이다. ZigBee는 저전력 근거리 무선 통신망 규격으로 최근에 기존 유선 센서망을 대체하며 통신 배선 비용과 통신 배선시 불편함을 제거하고 있다. ZigBee의 기반 프로토콜인 IEEE 802.15.4는 최근에 실시간성의 보장과 타 통신신호로 인한 간섭을 회피하는 MAC 계층 기술 및 규격을 개발하고 있으

며[1], 이는 산업용 혹은 빌딩설치용에 적합한 형태의 통신 방식으로 적용될 것으로 예상된다. WiFi는 또 하나의 잘 알려진 근거리 무선통신 프로토콜로서, 빌딩 내부에 이미 많은 WiFi 인프라 설치가 되어 있다는 장점을 살리면, 통신에 사용되는 추가 설치 비용을 절감하는 SHM 구현이 가능하게 할 것이다.

경보 및 유지관리 시스템 기술은 계측 데이터를 관리 분석하며, 실시간으로 감지된 신호에 따라 경보수준을 결정하여 단계별 경보를 할 수 있는 중앙 관리 시스템에 대한 개발 기술이다. 건물의 변형, 균열, 파괴와 관련한 안전성과 바람/지진에 의한 수평진동, 보행 및 운동에 의한 수직진동, 층간 소음 등의 사용성을 모두 고려하여, 고층 건물의 안전성, 사용성 평가를 모델링하는 기술 또한 연구된다. 이러한 모델은 계측 데이터에 기반한 해석 및 평가가 가능하여야 하며, 개발된 평가 모델을 중앙관리시스템에서 사용하여 계측 데이터를 분석한다.

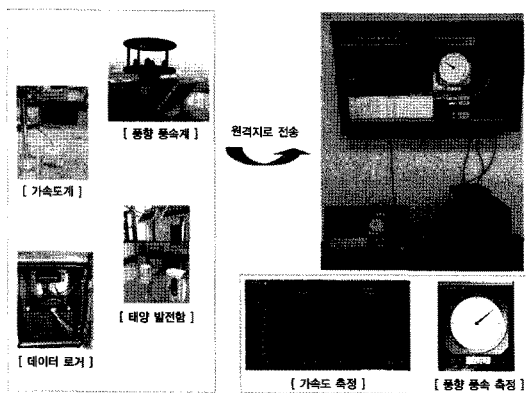


(그림 1) 초고층 빌딩의 SHM 시스템 설치 예

국내외의 SHM 적용 사례를 알아보면, 대부분은 교각에서 많이 사용되고 있으며, 고층빌딩으로는 미국에서 UCLA 대학 내 17층 빌딩에 가속도계, 경사계, GPS를 설치하여 모니터링 하였으며[2], 싱가포르의 Republic plaza에는 strain gauge, stress gauge, 가속도센서, 풍속계, GPS 등을 설치하여 강풍과 지진 등에 대비하여 상시 모니터링 및 계측 데이터를 분석하고 있다[4]. 국내에서는 (그림 1)에서 보여지는 형태와 같이 초고층 주상복합빌딩들에 SHM을 설치한 사례가 있으며, 제주월드컵경기장에 풍진동에 대한 손상평가 및 대응을 위해

서 설치한 사례가 있다. 이외에도, 광명 경륜동경기장, 인천 송도의 동북아 무역센터 등에 적용한 바가 있다.

세종대학교와 ㈜미래ISE는 (그림 2)와 같이 세종대학교 캠퍼스내 11층 빌딩에 건물 건전도 모니터링 시스템을 설치하여 신기술을 연구개발 중이다. 태양광 발전 전원에 의해 동작하는 풍향 풍속계, 가속도계 등이 풍하중 및 건물의 진동을 측정하고 데이터 로거(data logger)에서 이를 수집하여 무선통신을 통해 인터넷에 접속되어 원거리에 위치한 다른 빌딩에서 모니터링을 하고 있는 시험용 시스템의 사진이다. 이 건물은 주변의 건물과 다근자 모양으로 배치되어 바람이 강하게 건물에 부딪히는 경우가 잦아서 건물 건전도 모니터링시 유용한 데이터를 많이 얻을 수 있어 교육적인 데이터 자료로서 활용될 수 있다.



(그림 2) 세종대학교에 설치된 건설구조물 건전도 모니터링 시스템

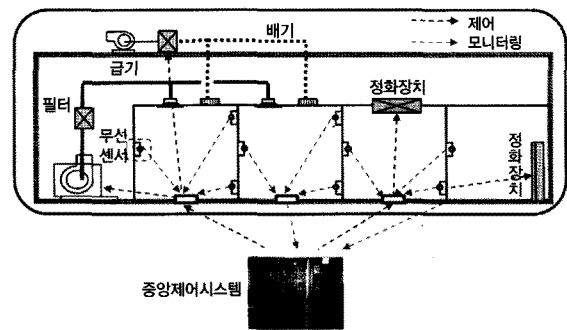
SHM 기술에 의해 실시간으로 신속하고 신뢰성 있는 표준화된 건물 건전도 계측 데이터의 접근이 가능하기 때문에 발주처, 시공사, 감리단 및 계측사간의 원활한 의사결정이 예상된다. 또한, 최근 일본의 대지진을 계기로 국내에서도 빌딩의 안전성이 중요한 이슈가 됨에 따라, IT와 건설기술의 융합체인 SHM 기술은 많은 건물에 구축되어 건설의 정보화를 가져올 것으로 기대가 된다.

2. 스마트 공기질/환기제어 시스템

실내에 배치된 가구, 전자제품, 벽지 등 다양한 물질로부터 환경오염물질이 배출되고 있으며, 이들은 미약한 양일지라도 어린이, 노약자, 알레르기 환자, 아토피 환자 등에게 장기

적으로 노출되었을 시에 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있다. 실내에서는 위험 물질의 확산이 어렵고 사람들은 약 65~95%의 시간을 실내에서 보내기 때문에⁴⁾, 건물의 실내 공기 질 오염은 실외보다 특히 더 위험하여 건강에 심각한 위협을 가할 수 있다. 이러한 실내 유해 물질로부터 사람들의 건강을 보호하기 위해서는 그 물질을 감지하는 센서와 그에 따른 시스템에 의해 사전에 감지하여 대응하는 것이 필요하다.

또한, 추운 겨울에 실내 온도 유지를 위하여 외부로부터 공기가 들어오는 것을 계속 차단하여 밀폐된 실내에서 환기가 되지 않을 시에 실내의 이산화탄소의 농도가 높아지게 된다. 건물 사용자가 이를 감지하여 매번 환기를 시키는 것은 사실상 어렵고 번거롭기 때문에 대부분 이루어지지 않고 있다.



(그림 3) 스마트 공기질/환기제어 시스템 구조도

이러한 빌딩내 공기질과 관련한 문제 해결을 위해서는 정밀하고 신속하게 매순간 변화하는 공기환경을 센서를 이용하여 측정하고, 측정된 값을 원격서버에 전달하여 적절한 공기정화 또는 환기장치의 구동을 수행하는 것이 필요하다. 공기질 모니터링/정화기 제어 시스템의 개발에 있어 원격으로 동작하게 하므로 네트워크 구축이 필요하다. 이러한 시스템을 스마트 공기질제어 시스템 또는 스마트 환기제어 시스템으로 정의한다.

(그림 3)은 스마트 공기질/환기제어 시스템의 구조를 나타낸 것이다. 스마트 공기질/환기제어 시스템의 기술은 공기질 센서 기술, 유무선 네트워크 기술, 공기질/환기제어 알고리즘 등으로 구성된다. 공기질 센서로는 CO₂를 비롯하여 인체에 유해한 CO, NO₂, 포름알데히드를 검지하는 센서 등이

사용될 수 있다. 이들 센서들을 복합화거나 교체 용이하게 하는 연구 및 수십개의 센서를 단일칩에 구현하는 연구가 진행되고 있다. 센서에서 인지된 신호는 아날로그 신호처리 회로, 디지털 신호처리 회로, 신호분석 및 제어를 위한 MCU (Micro Controller Unit) 회로를 거쳐서 시스템에서 자체 디스플레이가 되거나 원격지로 유무선 네트워크에 의해 전달된다.

유무선 네트워크는 SHM의 경우와 마찬가지로 WiFi, ZigBee, RS-485 등이 모두 사용될 수 있다. SHM과 다른 특징은 주로 실내에 센서가 장착되고 비교적 많은 수의 센서들이 설치될 수 있기 때문에 장애물이나 많은 수의 센서 연결이 지원 가능해야 한다는 것이다. 또한, 정화/환기장치와 연결이 되어야 하므로 정화/환기장치를 제어하는 네트워크와의 연결도 고려하여 네트워크는 설계되어야 한다. 스마트 공기질/환기제어 시스템에서 사용되는 형태의 네트워크 모델을 센서 액츄에이터 네트워크로 정의할 수 있으며, 이 네트워크는 센서와 피드백 제어 알고리즘이 동작하는 중앙제어시스템, 그리고 공기청정장치, 환기장치 등 액츄에이터로 구성된다.

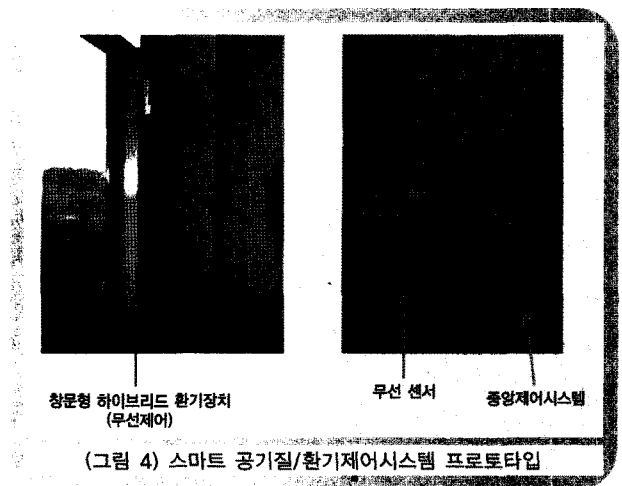
여러 위치에 설치된 센서들이 환경오염물질 센싱값을 서버에 전달하게 되면 이러한 센싱값을 토대로 오염물질의 종류, 발생위치, 발생농도, 시간, 사람수, 전력소비 등등에 따라 여러 장소에 설치된 여러 종류의 환경정화장치를 최적으로 구동해야 한다. 구동시에도 연속적으로 센서값으로 측정하며 정화장치들을 제어해야 한다. 이에 따라, 설치된 사이트 및 각종 파라미터와 직접 관련된 피드백 제어 알고리즘의 개발 및 구축이 필요하다.

또한, 스마트 공기질/환기 제어시스템의 도입 결정자인 건물의 소유주는 운영비용에 가장 관심이 크기 때문에 운영비용이 가장 큰 결정요소일 수 있다. 운영비용은 센서 뿐 아니라 특히 청정기와 환기장치의 전력소모와 깊어 관련이 되어 있다. 또한, 불필요한 전력의 소모는 국가 전체적으로 보았을 때 또다른 환경오염의 원인이 될 수 있다. 불필요한 전력 소모는 오염되어 있지 않은 지역에서의 과도한 공기청정기/환기 장치의 구동 및 빌딩에서 사람이 없는 공간에서의 센싱 및 공기청정기/환기 장치의 구동을 예로 들 수 있다. 따라서, 개인 패턴 및 장소의 특징을 기반으로 하여 최적 전력을 소모할 수 있는 실내 공기질 모니터링/제어 네트워크 시

스템의 연구가 필요하다. 스마트 공기질/환기 제어기술은 친환경적 기술로써 최적 환기제어를 통해 재실자들의 생산성과 삶의 질을 높이고 건물 운전에너지 절감을 통한 탄소 배출 저감을 기대할 수 있다.

세종대학교와 (주)벤토피아홀딩스는 (그림 4)에서 보여지는 바와 같이 세종대학교 빌딩 내에 스마트 공기질/환기제어 시스템을 설치하여 시험평가를 수행하고 있다. 센서를 이용하여 이산화탄소(CO₂), 암모니아, 일산화탄소, 이산화질소, VOC의 량을 측정하고 있으며, 특히 ZigBee 무선통신에 의해 수집한 이산화탄소 측정값은 중앙제어시스템에서 분석되어 창문형 하이브리드 환기제어장치를 역시 무선통신에 의하여 제어한다.

개발된 창문형 하이브리드 환기장치는 기계환기와 자연환기가 조합되어 각각의 장단점을 보완하고 있으며, 급기구와 배기구가 일정한 제어 조건에 의해 별도로 운전되는 시스템으로 ZigBee 무선통신에 의해 원격 제어될 수 있다. 이 환기장치는 축열부재, 필터채, 급/배기 팬(fan), 자연환기구, 기계환기구 등으로 구성된다. 급기측은 실내의 CO₂센서에 의해 필요환기량 도입이 능동적으로 대처가 가능하도록 급기팬의 풍량을 5단계로 조절이 가능하며, 배기측은 급기측의 도입 풍량만큼 배기 팬을 사용하거나 자연환기를 통하여 배기한다.



(그림 4) 스마트 공기질/환기제어시스템 프로토타입

3. 빌딩 정보 모델링과 사용자 인터페이스

빌딩의 규모가 고층화, 대형화되면서 단계별·분야별로 수많은 빌딩에 대한 정보들이 발생하고 있다. 또한, 지구온

난화 문제로 건축물에 있어 친환경성 및 에너지효율 등의 분석이 요구되고 있어 빌딩에 대한 구체적인 정보가 필요하다. 따라서, 이러한 빌딩 정보들이 체계적으로 관리되지 못하면, 정보의 불일치, 누락, 업무 중복수행, 에너지 낭비 등 건설 프로젝트의 기간과 비용을 늘리고 완성된 빌딩의 에너지 효율 저하 등 문제들이 발생할 수 있다. 이러한 문제들을 방지하기 위하여 빌딩 정보 모델링이 필요하며, 빌딩 정보 모델링(Building Information Modeling, 이하 BIM)이란 빌딩의 생명주기, 즉 설계부터 생산, 그리고 유지관리까지 모든 과정에서의 정보를 데이터화하여 관리하는 기술이다.

BIM은 빌딩 설계 및 건축에 있어 생산성을 향상시키는 것을 목적으로 하며, 일반적으로 3차원, 실시간, 동적인 빌딩 모델링 소프트웨어를 사용한다. BIM기술은 소프트웨어를 중심으로 하는 IT기술과 건설 기술이 융합되어 있으며, 유무선통신망, 위치기반 시스템 및 정보 운영관리시스템 기술 또한 BIM기술 발전에 필요한 기술로서 역할을 할 수 있다. 이는 BIM에서 빌딩의 형상, 공간 관계, 위치정보, 빌딩 재료의 수량 및 특성 등을 고려하기 때문이다. BIM 정보를 표현하는 데이터 구조체 형식의 국제 표준은 IFC(Industry Foundation Classes) [5]이며, 소프트웨어들간의 상호 이용이 가능한 것을 목적으로 한다. 많은 소프트웨어 기업들이 IFC를 지원하고 있으며, 동시에 각 CAD 제조사별로 IFC 이외의 전용 구조체도 사용하고 있다.

미국, 싱가포르, 핀란드 등 해외 선진국에서는 정부가 발주하는 건축물에 BIM 적용을 의무화하거나 BIM 관련 지침을 제정 및 운영하고 있다. 이 같은 추세는 국내에서도 공공이 발주하는 건축물에 BIM을 적용하는 사례가 속속 나타나

고 있다. 2012년부터 조달청이 발주하는 500억 이상 토달서비스로 발주하는 모든 건축물에 대하여 BIM 적용을 의무화하기로 하였다.

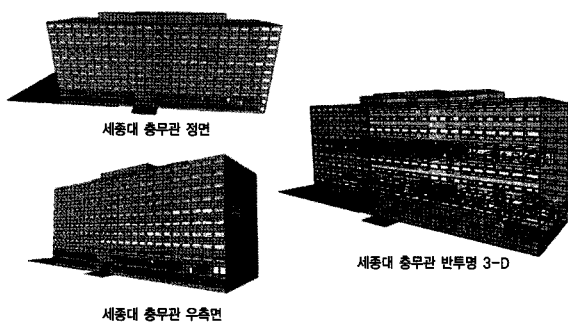
세종대학교와 연세대학교는 공동으로 BIM 기술을 토대로 한 빌딩내 에너지 및 공간정보 관리 기술을 개발하고 있다. 빌딩내 실시간 에너지 사용 실태 모니터링 및 에너지 분배 관리 기술을 개발하여, 이를 토대로 빌딩의 에너지 플로우를 분석하고, 빌딩 운영망을 통해 모니터링 가능하도록 하는 에너지 관리 소프트웨어를 개발한다. 또한, 빌딩내 및 근방에서의 사용자 공간위치추적 및 공간정보안내 기술을 연구하고 있다.

세종대학교는 (그림 5)와 같이 캠퍼스내의 IT건설융합기술 테스트베드로 사용하는 빌딩을 3D 모델링을 하여 BIM에서 지향하는 3차원 기반의 사용자 인터페이스를 구축하고 있다. 반투명 빌딩 모델에서 설치된 센서시스템들이 표시되어 모니터링이 될 수 있도록 개발하고 있으며, 사용자는 한 눈에 들어오는 편리한 인터페이스를 사용하게 될 것이다. 또한, 스마트폰 및 스마트패드에서 빌딩의 건전성 정보, 공기질, 환기상태, 에너지 발전/소비량 등에 대한 실시간 정보 및 통계정보를 확인해볼 수 있는 스마트 빌딩 모바일 운영관리시스템을 개발 중에 있다.

III. 결 론

본 고에서는 IT 기술과 건설 기술의 융합기술로서 건물구조 건전도 모니터링 기술, 스마트 공기질/환기제어시스템 기술, 빌딩정보 모델링 기술 등에 대하여 소개하였으며, 현재 연구개발하여 빌딩에 설치하여 시험 중인 시스템에 대하여 설명하였다.

스마트 빌딩 IT건설융합 기술은 재난 재해 예방 및 에너지 절감을 통한 국가 기반 시설 비용 감소를 기대할 수 있으며, 고부가가치 건설시장 창출을 통한 고용 확대 및 고기능성 건설 부품·신소재 산업을 활성화할 것이다. 세계 수준의 건설시공 기술에 IT 기술을 접목함으로써 건설 기획, 설계, 건설 엔지니어링 등의 분야에 있어서 IT건설 융합 기술로의 패러다임 전환을 통한 국제 경쟁력 확보 및 선진국과 기술




(그림 5) 3-D 빌딩 모델링 및 인터페이스

적차 해소에 기여할 것으로 기대한다. 스마트 빌딩 기술이 앞으로 안전과 편의가 보장되는 초고층 빌딩 건설 및 미래 도시 구축의 기반 기술로 활용될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 “IT융합 고급인력과정 지원사업”의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C6150-1101-0003).

약 력	
	1996년 서울대학교 전기공학부 공학사 1998년 서울대학교 전기공학부 공학석사 2004년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학박사 2002년 ~ 2003년 미 버지니아대학 컴퓨터학과 연구원 2004년 ~ 2006년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원 2006년 ~ 현재 세종대학교 정보통신공학과 조교수/학과장 2010년 ~ 현재 세종대학교 스마트빌딩 IT융합연구센터 센터장 관심분야: Cyber Physical System, 무선네트워크
김 형 석	

참 고 문 헌

- [1] Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment: Amendment to the MAC sub-layer, IEEE P802.15.4e/D0.01, (15-09/604/r7), 2010-04-07.
- [2] Baek, J., M. Hansen, R. Nigbor, and S. Tileylioglu, "Elevators as an Excitation Source for Structural Health Monitoring in Buildings", Proc. 4th World Conference on Structural Control and Monitoring, La Jolla, California, USA, July 2006.
- [3] Clement Ogaja, Chris Rizos, Jinling Wang, J. Brownjohn, "High Precision Dynamic GPS System for On-line Structural Monitoring", 5th Int. Symp. on Satellite Navigation Technology & Applications, Canberra, Australia, 24-27 July, 2001.
- [4] 김윤신, "실내 공기오염의 위해성 평가 및 관리, 월간 첨단환경기술, (<http://www.envitop.co.kr/05chumdan/06/sp1.htm>)
- [5] Specifications of Industry Foundation Classes, buildingSMART, (<http://www.buildingsmart-tech.org>)

