

# 도시철도 및 지하쇼핑몰 안전 관리를 위한 U-IT 지능형 시스템 설계 및 구현

황성일\*, 박정호\*\*, 송재철\*\*\*

\*[주] 맥스포, \*\*서울디지털대학교 컴퓨터공학부, \*\*\*인덕대학 정보통신공학부

## Design and Implementation of U-IT Intelligent System for Monitoring the Safety of Metro Railway and Underground Shopping Malls

Whang Sung Il<sup>\*</sup>, Park Jung Ho<sup>\*\*</sup>, Song Jae Chul<sup>\*\*\*</sup>

Maxfor Technology Inc., Seoul Digital University, Induk Institute of Technology

E-mail : whangsi@maxfor.co.kr, parkjh@sdu.ac.kr, cjsong@induk.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 USN 기반 센서 정보수집기술과 지능형 영상분석기술을 이용하여 도시철도 역사와 지하도 상가의 유해가스, 미세먼지 등 지하공기 상태를 실시간 모니터링하고 분석할 수 있는 시스템을 설계하고 구현한다. 이를 위해 TinyOS를 탑재한 저전력 프로세서 시스템으로 IEEE 802.15.4 표준 무선 네트워크 통신을 지원하는 센서 노드를 구현하고, 이 센서 노드로부터 수집된 데이터를 이 기종 네트워크와 연동하여 상위 시스템에 전송할 수 있는 USN 게이트웨이 노드 시스템을 구현한다. 이러한 네트워크 시스템을 통해 수집된 센싱 데이터는 중앙의 DB서버로 취합 및 저장되도록 구현되며, 최종적으로는 어플리케이션 서버를 통해 공중이용시설의 이용자나 철도 안전 모니터링 요원에게 실시간으로 정보를 서비스할 수 있도록 구현된다.

### 1. 서론

오늘날 중요한 교통 수단인 도시철도는 도심을 관통하도록 건설되기 때문에 역사가 지상에 건립되기 보다는 지하에 더 많이 건립되는 편이며, 따라서 도시철도 이용객에게 다양한 편의시설을 제공하기 위한 상가도 지하에 만들어지거나 지하 연결 통로를 통해서 연계되도록 만들어지는 경우가 많다. 이렇게 지하에 건설되는 도시철도 역사와 지하도 상가는 지상에 건설된 건물에 비하여 환기

가 잘 이루어지지 않기 때문에 실내 공기 중에 미세먼지가 많고 일산화탄소나 포름알데히드와 같은 유해물질도 많은 편이다. 우리나라 환경부에서는 쾌적하고 건강한 환경 조성을 위한 여러 가지 노력의 일환으로 많은 사람들이 이용하는 다중이용시설에 대해서 적절한 실내공기가 유지될 수 있도록 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”을 만들어 놓고 도시철도 역사나 지하도 상가와 같은 다중이용시설의 관리 책임자는 매년 실내공기에 대한 측정결과를 보고하고 공지하도록 의무화하고

있다.

이에 본 논문에서는 USN 기반 센서 정보수집 기술과 지능형 영상분석기술을 이용하여 도시철도 역사와 지하도 상가의 유해가스, 미세먼지 등 지하공기 상태를 실시간 모니터링하고 분석할 수 있는 시스템을 설계하고 구현한다. 이를 위해 TinyOS를 탑재한 저전력 프로세서 시스템으로 IEEE 802.15.4 표준 무선 네트워크 통신을 지원하는 센서 노드를 구현하고, 이 센서 노드로부터 수집된 데이터들을 이 기종 네트워크와 연동하여 상위 시스템에 전송할 수 있는 USN 게이트웨이 노드 시스템을 구현한다. 이러한 네트워크 시스템을 통해 수집된 센싱 데이터는 중앙의 데이터베이스 서버로 취합 및 저장되도록 구현되며, 최종적으로는 어플리케이션 서버를 통해 공중이용시설의 이용자나 철도 안전 모니터링 요원에게 실시간으로 정보를 서비스할 수 있도록 구현된다.

서론에 이어 본문에서는 U-IT 지능형 도시철도 및 지하상가 안전 모니터링 시스템을 구축하는데 이용된 하드웨어 및 소프트웨어 기술에 대해서 설명한다.

## 2. 시스템 설계

### 2.1 전체 시스템 구성

본 시스템에서는 역사와 승강장 그리고 지하 상가의 층별, 공간별, 장소 및 환경에 따라 USN 센서 노드를 구축한다. 구축되는 각 USN 센서 노드는 역사, 승강장 및 지하상가를 기준으로 그룹으로 분류된다. 각 그룹의 USN 센서 노드는 각 노드가 구축되는 무선 네트워크 환경에 따라 Ad-hoc 또는 Multihop 네트워킹을 구성한다. 각 USN 센서 노드에서는 수집된 센싱 데이터를 IEEE 802.15.4/ZigBee 통신으로 베이스 노드로 전송하며, 이렇게 베이스 노드로 수신된 데이터는 USN 게이트웨이를 통해 다시 중앙의 DB서버로 전송하게 된다. 이때 USN 게이트웨이로부터 중앙

DB서버로의 전송은 CDMA 셀룰러 네트워크 망을 사용한다. 중앙의 DB서버에 취합되어 저장된 데이터는 어플리케이션 서버에 의해 사용자가 정보를 파악하기 좋은 형태로 가공된 후 실시간으로 사용자에게 서비스된다. 이때 사용자는 관리자용 전용 단말기나 웹브라우저 또는 모바일 단말기를 통해서 실시간으로 수집된 데이터의 상태를 모니터링하거나 분석한다.

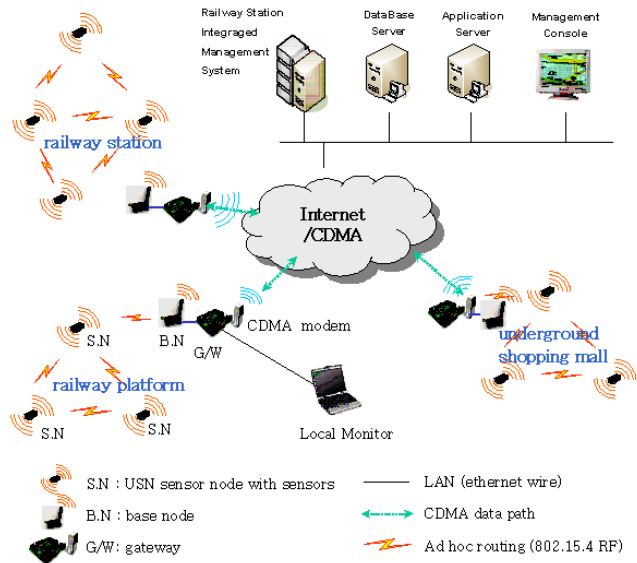


그림 1. USN 시스템 네트워크 구성도

본 USN 시스템의 하드웨어는 그림 2의 왼편에 나타난 것과 같이 USN H/W Core Process, 센서 인터페이스를 위한 USN Expansion board, 네트워크 연동을 위한 USN 게이트웨이, 데이터 저장 및 정보 처리를 위한 USN 서버로 구성된다. USN H/W Core Process에는 초소형 USN 임베디드 소프트웨어가 탑재되며, USN Expansion Board에는 센서 인터페이스 및 Calibration을 위한 센서 처리 소프트웨어가 탑재된다. 또한 USN 게이트웨이에는 센싱 데이터의 네트워크 확장을 위한 CDMA 네트워크 연동 소프트웨어가 임베디드 리눅스 플랫폼 위에 설치되며, 중앙의 USN 서버에는 수집된 데이터를 보관하기 위한 데이터베이스 엔진과 미들웨어, 그리고 모니터링 프로그램

등이 탑재된다. 이들 각각의 구성요소는 그림 2에 나타난 것과 같이 유기적으로 연동되어 작동한다.

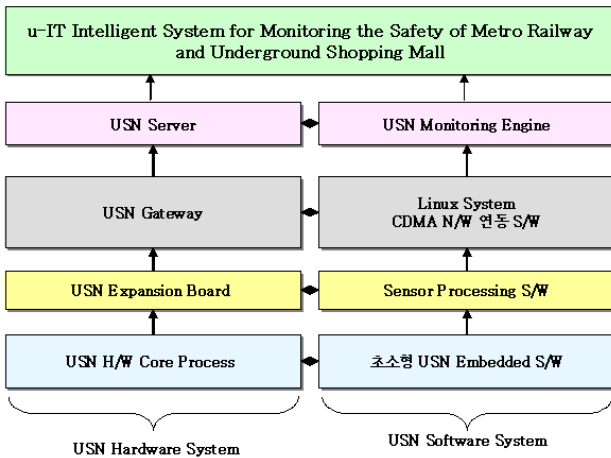


그림 2. USN 시스템 개념도

## 2.2 데이터베이스 Schema 설계

본 USN 시스템을 위한 데이터베이스는 Sensor\_id\_Tab 테이블, Group\_table 테이블, Web\_setup 테이블, TIPME\_config\_table 테이블, NODE\_table 그리고 Warning\_log 테이블로 이루어진다. 이들 가운데 Sensor\_id\_tab 테이블은 모든 센서 노드로부터 수신된 가장 최근의 정보를 저장하는데 사용되며 Group\_table 테이블은 노드 그룹의 상태를 저장하는데 사용된다. 그리고 Web\_setup 테이블은 웹에서 사용하는 각 노드의 설정을 저장하는데 사용되는 테이블로써, 주로 임계치 및 노드의 위치 정보 등이 저장된다. TIPME\_config 테이블에는 TIPME2에서 사용하는 각 노드의 설정을 저장하며, Node\_table 테이블은 노드에 관한 정보들을 저장한다. 이때 Node Table의 이름은 group\_id와 origin\_id를 조합하여 자동적으로 지정된다. 예를 들어 group\_id = 77, origin\_id = 11 이면 Node Table의 이름은 77\_11 이 된다. 한편, warning\_log 테이블은 센싱된 데이터가 설정된 임계치를 초과하였을 경우 발생하는 경고 메시지에 된 발생 기록을 저장하는 테이블이다.

## 2.3 USN Server 구조

USN 서버는 그림 3에 나타난 것과 같이 웹 서버와 데이터베이스 서버로 분리되어 구성된다. W 웹 서버에는 USN 모니터링 엔진이 탑재되며, 이 엔진은 TCP/IP 소켓과 HTTP 그리고 FTP 프로토콜 등을 이용하여 콘솔 시스템에 탑재된 모니터링 프로그램에서 요청하는 정보에 따라 데이터베이스 서버에 축적된 온도/습도 센싱 데이터, CO/CO<sub>2</sub> 센싱 데이터, 미세먼지 센싱 데이터, 포름알데히드 센싱 데이터 등을 추출하여 해당 정보를 요청한 콘솔 시스템으로 전송한다.

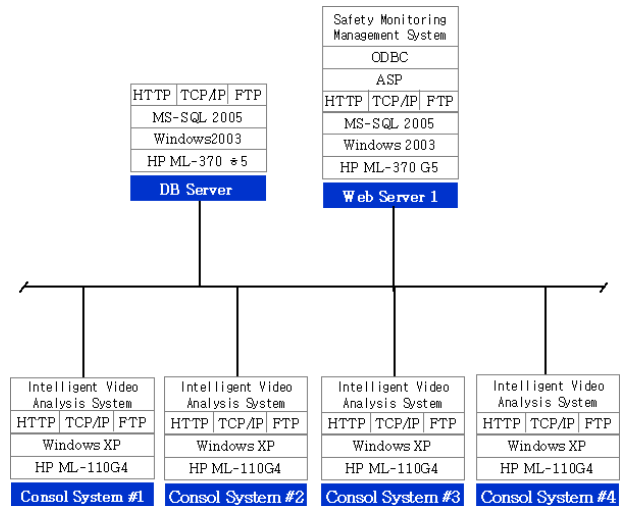


그림 3. USN 서버와 콘솔 시스템의 구조

데이터베이스 서버는 모든 센서 노드로부터 수신되는 센싱 데이터와 데이터가 센싱된 시간, 노드그룹의 상태 정보, 각 노드의 최대/최소 임계치, 각 노드의 위치 정보, 각 노드의 설정치 등을 보관하게 된다. 웹서버는 콘솔 시스템의 요청에 따라 각 센서의 노드 토폴로지 구성 상태나, 센싱 데이터 상태, 센서 노드 정보, 미들웨어의 동작 상태, 웹 데이터 통계 정보 등을 모니터링 하기 용이한 형태로 가공한 후, 웹 페이지를 통해 서비스하게 된다.

## 2.4 USN 노드 구현 알고리즘

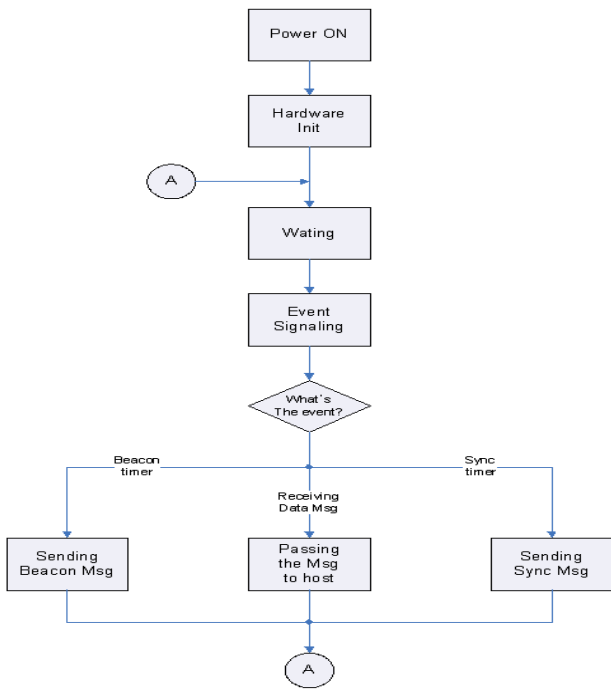


그림 4. 싱크 노드의 동작 흐름도

USN 노드는 크게 나누어 싱크 노드와 엔드 노드로 구분된다. 싱크 노드는 센서 네트워크로부터 발생하는 데이터를 수집하여, 유선 망 또는 무선 망으로 건네주고, 최소의 cost 값을 가지고 beacon 메시지를 broadcasting함으로써 네트워크 토폴로지 형성을 주도한다. 그림 4는 싱크 노드의 동작을 흐름도로 나타낸 것이다. 싱크 노드는 Power On 이후 하드웨어를 초기화 시키고 난 뒤, 엔드 노드로부터 데이터 메시지를 받거나 beacon 타이머 또는 sync 타이머가 이벤트를 일으킬 때까지 대기 상태에 놓여 있게 된다. 만일 엔드 노드로부터 데이터 메시지가 수신되거나 beacon 타이머나 sync 타이머가 설정한 시간에 도달하게 되면 해당 이벤트에 따라 취해야 할 일을 수행한다. 즉, beacon 타이머 이벤트가 발생하면 beacon 메시지를 broadcasting함으로써 네트워크 토폴로지 형성을 주도하도록 하며, sync 타이머 이벤트가 발생하면 설정된 값에 따라 다른 노드들과 동기화를 취함으로써 sleep-active 상태를 효율적으로 변화시키게 된다. 그리고 엔드

노드로부터 데이터 메시지를 수신하였을 때는 Receiving Data Message 이벤트가 발생되며, 이 때는 수신된 데이터 메시지를 자신의 부모 노드나 USN 서버로 전달하게 된다.

엔드 노드는 센터 네트워크를 이루는 노드 중에 싱크 노드 이외의 노드를 말하며, 기본적으로 센싱 기능과 라우팅 기능을 함께 가지고 있다. 네트워크 진입 전까지는 동작을 멈추고 있다가, 네트워크에 진입하게 되면 기능을 수행하게 된다. 네트워크 진입 시에는 beacon 메시지에 따라 단순히 센싱하고 데이터를 전송할 것인지 아니면 다른 노드로부터 발생한 데이터를 경유시키는 라우팅 역할을 수행할 것인지 자신의 역할을 결정하며, sync 메시지에 따라 sleep과 active 상태를 결정짓게 된다.

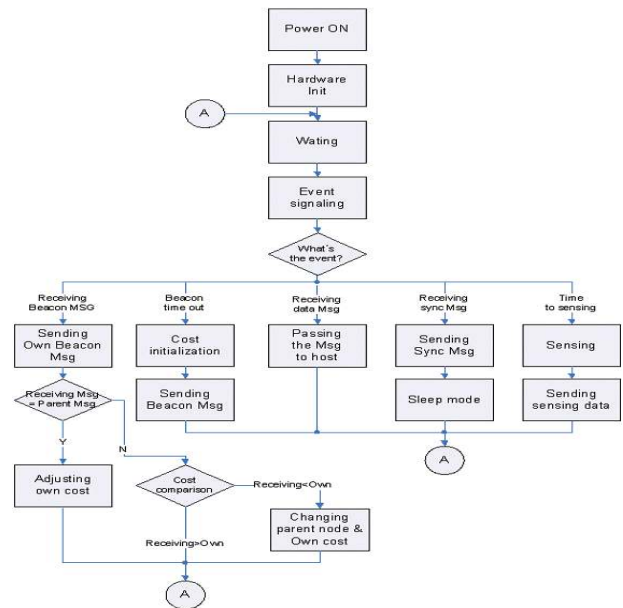


그림 5. 엔드 노드의 동작 흐름도

싱크 노드와 엔드 노드 간에 토폴로지 형성은 2단계로 이루어진다. 우선 1단계에서는 싱크 노드가 Beacon 메시지를 주변의 엔드 노드들로 broadcasting 한다. 다음 2단계에서는 싱크 노드가 보낸 beacon 메시지를 받은 엔드 노드가 자신의 cost와 받은 beacon 메시지의 cost를 비교하여 부모 노드를 결정하게 되며, 싱크 노드의 RF

범위에 속하지 않은 엔드 노드를 찾기 위해 beacon 메시지를 다시 broadcasting 한다. 이와 같이 1단계와 2단계 과정을 거쳐 부모 노드가 결정되면, 각 엔드 노드에서는 데이터 메시지를 발생시켜 자신의 부모 노드로 전송하게 된다.

### 3. 시스템 구현

#### 3.1 구현 환경

역사 내에 설치되는 USN 그룹은 RF 특성 및 공간의 구성에 따라 다시 3개의 서브 그룹으로 구성되었다. 하나의 USN 서브 그룹에는 온도, 습도, 포름알데히드, CO, CO<sub>2</sub>, 먼지 센서 등을 탑재한 다수의 센서 노드들과 필요시 각 센서 노드들로부터 수집된 데이터를 중계할 중계 노드, 그리고 베이스 노드를 포함하는 USN 게이트웨이가 구축되었다. 센서 노드는 환경부 기준에 부합되는 센서를 사용하였으며 그에 따른 설치 방법에 부합되도록 설치되었다. 그리고 중계 노드는 데이터 손실을 최소화하고 안정적인 Ad-hoc, multihop 네트워크가 이루어 질 수 있는 위치에 설치되었다. USN 게이트웨이의 경우에는 IEEE 802.15.4/ZigBee 방식의 USN 통신과 CDMA 통신이 모두 다 원만히 이루어 질 수 있도록 역사 내 CDMA 중계기의 위치를 고려하여 설치되었다.

I자 형태인 지하상가의 USN은 RF 특성 및 공간의 구성에 따라 온도, 습도, 포름알데히드, CO, CO<sub>2</sub> 및 먼지 센서를 탑재한 다수의 센서 노드들과 베이스 노드를 가지는 하나의 USN 게이트웨이를 사용하여 하나의 USN 그룹으로 구축되었다. 센서 노드는 실내에서 30m~80m의 RF 범위를 갖고 있으나 실제 구축 전 RF 특성 테스트를 실시하여 최적 설치 위치를 선정하였다.

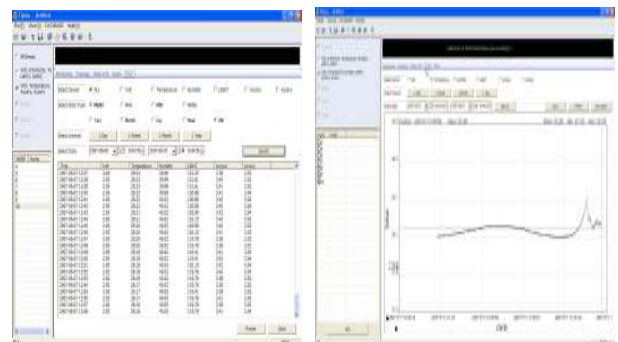
#### 3.2 USN 노드와 USN 게이트웨이의 구현

USN 노드는 무선 센서 네트워크를 구성하기 위한 2.4GHz 대역의 통신 노드로써 저전력 프로

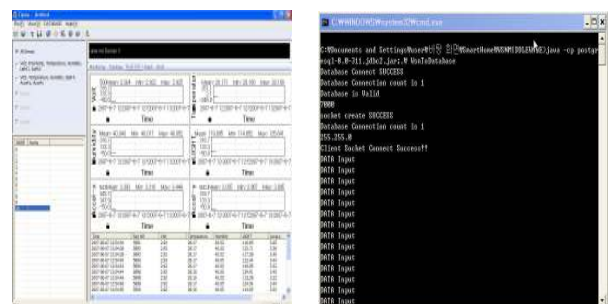
세서에 USN에 적합한 소형 운영체제(TinyOS)를 탑재하여 자체적으로 네트워크(Ad-hoc 또는 Mesh Network)를 형성하고 적합한 센서를 탑재하여 무선 통신망을 형성한다. 이러한 USN 노드들은 상위 시스템(local host PC 또는 Gateway)과 연동하여 지역 또는 원격지 서버와 통신하여 USN이 CDMA/인터넷 망과 연동하도록 한다.

USN 게이트웨이는 센서 노드의 센싱 데이터를 수집하여 이 기종 네트워크 (CDMA, HSDPA, WLAN)로 연동하여 로컬 호스트 및 원격지 서버와 같은 상위 시스템에 전송하기 위한 인터페이스를 제공한다. 센서 네트워크의 센서 노드들과의 인터페이스는 베이스 노드와 직렬 인터페이스에 의해 연결되며 이더넷 혹은 CDMA를 통하여 BcN 망과 연동되어 상위 서버와 통신할 수 있는 경로를 제공한다.

#### 3.3 USN 모니터링 시스템 구현



(a) 센싱 데이터 차트 (b) 센싱 데이터 그래프



(c) 센서 노드 정보 화면 (d) 미들웨어 동작 화면

그림 6. USN 모니터링 화면 예

USN 모니터링 시스템에서는 사용자가 USN 데이터를 모니터링하기에 용이한 인터페이스와 통계적으로 분석할 수 있는 GUI 환경을 제공한다. TIPME는 클라이언트 프로그램으로 ADC 값으로 저장되어 있는 데이터베이스의 센싱 값을 실측 값으로 변환 시켜 보여주는 프로그램이다. 데이터베이스에 저장된 데이터는 사용자 요구에 의해 최대, 최소, 평균 등의 분석이 가능하고 그림 6에 나타난 것과 같이 센싱된 데이터를 차트나 그래프로 나타내어 질 수 있는 것은 물론 각 센서 노드에 관한 정보나 미들웨어의 동작 상태 등을 살펴볼 수 있다. 또한 임계치 설정이 가능하여 센싱된 데이터가 임계치에 이르렀을 때 사용자에게 자동적으로 경고 메시지를 보여 준다.

#### 4. 결론

최근 유비쿼터스 사회의 핵심 기술로 부각되고 있는 유비쿼터스 센서 네트워크의 연구가 활발히 진행되는 것과 함께 여러 종류의 센서 하드웨어와 다양한 방식의 무선 통신 모듈이 개발되었다. 많은 하드웨어의 개발이 이루어지면서 유비쿼터스 센서 네트워크를 실생활에 활용하는 방안에도 많은 연구가 이루어져야 한다. 그 예로 다중이용시설 등의 실내공기에 대한 측정을 보면 지금까지 1년에 1회 간격 측정을 통한 측정방법으로 공기 오염도를 측정해 왔기 때문에 측정시점의 오염 상태에 따라 편차가 심하고 측정원의 측정기록부 작성 후 이기 작업으로 시스템에 기록해야 했기 때문에 사용자가 원하는 정보를 실시간으로 얻기 힘들었다.

이에 본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용하여 도시철도 지하역사나 지하도 상가와 같은 다중이용시설의 실내공기를 365일 상시 측정하여 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 구현하였다. 본 논문에서 구현한 시스템은 다중이용시설의 층별, 공간별, 장소 및 환경에 따라 각

각의 그룹으로 분류된 USN 노드 그룹으로부터 수집된 센싱 정보를 무선 네트워크를 통해 데이터베이스 서버에 자동적으로 기록될 수 있도록 하며, 기록된 데이터를 인공지능기술로 분석하여 지능형 영상 분석 시스템과 연동하도록 함으로써 공중이용시설의 이용자와 상시 근무자의 안전 및 편의를 제공하고 재난 발생 상황에 능동적으로 대처할 수 있게 한다.

#### [참고문헌]

- [1] 강역욱외 4명, “Tiny-OS와 MySQL을 이용한 유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 실시간 정보 서비스 설계 및 구현”, 한국산학기술학회 논문지 제7권 제2호, pp175-181, 2006년4월
- [2] 조광수, 최수영, 김화중, “유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서의 효율적인 상황 정보 이용을 위한 데이터 관리 구조에 대한 연구”, 2005년 대한 전자공학회 하계학술대회 논문집 제28권 제1호, pp55-58, 2005년 6월
- [3] 이덕동, “Ubiquitous Network와 센서기술”, Telecommunications review 제13권 1호, pp91-104, 2003년 2월
- [4] 김용우, 양현규, 김부림, 김도현, “유비쿼터스 센서네트워크 기반의 모바일 관광지 기후 정보 서비스 설계 및 구현”, 제2회 RFID/USN 연구논문 공모 수상작, 2006년
- [5] Networking Wireless Sensors, Cambridge University Press, Dec 2005
- [6] Developing Practical Wireless Applications, Digital Press, Jan 2007
- [7] Anna Hac, Wireless Sensor Network Designs, John Wiley an Sons, May 2005
- [8] Rajeev Shorey, A.Ananda, Mun Choon Chan, Wei Tsang Ooi, Mobile Wireless and Sensor Networks, Wiley and IEEE Press, Mar 2006