

# U-불국사 : 실시간 온라인 화재조기감지시스템

## U-Bulguksa: Real-Time and Online Early Fire Detection Systems

주재훈(Jaehun Joo)\*, 임재걸(Jaegeol Yim)\*\*

### 초 록

본 연구는 900MHz와 2.4GHz의 주파수 대역을 갖는 각각의 센서노드를 무선개인네트워크로 연결하여 불국사의 문화유산을 보호하기 위한 화재조기감지시스템을 구축한 결과에 기반을 두고 있다. 본 연구에서는 먼저 유비쿼터스 센서네트워크에 기반을 둔 문화재관리를 위한 요구사항을 분석하고, 문화재관리에서 필수적인 화재감시 및 조기탐지를 위해 적용한 u-불국사의 개발 사례를 제시한다. 이 사례는 U-불국사의 실현이라는 시간에 따라 변형 또는 훼손되는 각각의 유형문화재에 대한 정보를 실시간 온라인으로 입수하여 이를 토대로 과학적으로 문화재를 관리할 수 있는 시스템인 U-문화재관리와 이들 문화유산에 대한 정보를 현장에서 휴대 단말기로 제공해 주는 U-관광 프로젝트의 초기단계로서 수개월간의 시험운영하고 있는 것이다.

### ABSTRACT

This paper presents real-time online early fire warning systems developed for preserving cultural properties of Bulguksa which is a world heritage designated by UNESCO. The system is based on the ubiquitous sensor network employing 900MHz and 2.4GHz bands. In this paper, we analyze requirements that should be considered in building effective management systems of cultural heritages by using wireless sensor network. Finally, we introduce the architecture, sensor and network design, and software design of the fire warning systems which is an initial version of U-Bulguksa. The current version of systems has been operating in Bukguksa for a few months. U-Bukguksa project sponsored by National Information Society Agency is ultimately aimed at developing an integrated system of U-cultural heritage management and U-tourism. The former aims to conserve and manage intangible cultural properties by providing a variety of environmental information such as erosion, crack, and gradient as well as fire which are important causes of loss and damage in real-time and online. The latter refers to the intelligent tourism information and guidance systems allowing tourists to get the personalized content on cultural heritages and help guidance with mobile devices in Bulguksa.

키워드 : 유비쿼터스, 센서네트워크, USN, 문화재관리, 서비스 모델, 불국사  
Ubiquitous, Sensor Network, USN, Cultural Heritage Management, Service Model, Bulguksa

\* 동국대학교 경영·관광대학 전자상거래학과 교수

\*\* 동국대학교 과학기술대학 컴퓨터멀티미디어학과 교수

## 1. 서 론

USN(Ubiquitous Sensor Network)이란 필요한 모든 것(곳)에 센서를 부착하여(ubiquitous), 이를 통하여 기본적인 사물의 인식정보는 물론이고 주변의 환경정보(온도, 습도, 오염, 균열 등)를 탐지하여(sensor), 이를 실시간으로 네트워크에 연결하고(network) 그 정보를 관리하는 것이다. 따라서 궁극적으로는 모든 사물에 컴퓨팅 및 커뮤니케이션 기능을 부여하여 언제, 어디서나, 어떤 것과도 통신이 가능한 환경을 구현하는데 그 목적이 있다 [1~7].

RFID(Radio Frequency Identification)가 칩에 사물에 대한 해당 정보를 저장하고 있는 수동형인 반면 USN의 센서는 해당 사물에 대한 정보는 물론이고 주변에 대한 환경 정보를 입수하여 처리하고 전송할 수 있는 능동형이다[6]. 무선 센서네트워크는 군사분야, 환경 모니터링, 로지스틱스, 의료, 로봇틱스 등 다양한 분야에 적용될 수 있으며 부분적으로 이들 분야에 적용하고자 하는 많은 연구가 이루어져왔다[1~4]. 또한 센서 네트워크 구조와 프로토콜, 라우팅, 미들웨어 등의 요소기술에 대한 연구가 수년간 진행되어 오고 있다. 국내의 경우, U-KOREA를 실현하기 위한 일환으로 한국정보사회진흥원에서는 2005년도 이론적 연구를 넘어서 실험실 환경에서 USN 기반의 시스템 구축을 지원한 바 있다. 2006년도에는 실험실 환경을 넘어서 현실 환경에 USN 기반 시스템을 구축하여 운영하는 과제를 지원하게 되

었다.

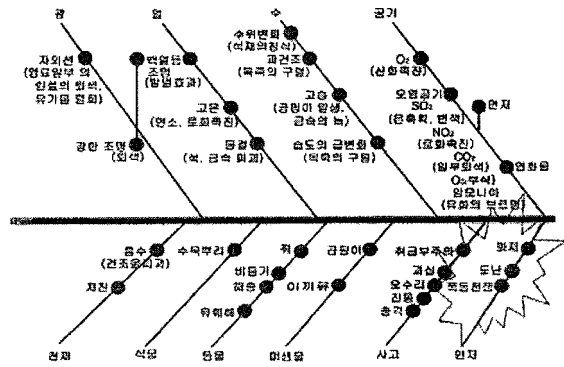
문화재는 국가의 중요한 문화유산으로 보존되어야 하지만, 자연적 현상 및 인위적 환경 하에서 훼손, 소실, 또는 변형되어 오고 있다. 이러한 문화재를 실시간 및 온라인으로 감시하여 관리하는데 USN이 적용될 수 있다. 일부 극소수의 문화재에 유선망을 이용한 아날로그 센서를 문화재에 장착하여 문화재의 변형에 대한 환경정보를 입수하여 관리하는 경우는 있으나 USN 기반의 문화재관리시스템(이하에서는 U-문화재관리시스템이라 함)이 적용된 경우는 아직 찾아볼 수 없는 현실이다. USN 기반의 문화재관리 방식은 기존의 아날로그 방식에 비해 문화재 자체에 손상을 줄 가능성이 낮고 경관을 해칠 가능성도 낮으며 접근이 어려운 곳에도 실시간으로 문화재 관리와 보호에 필요한 정보를 입수하는 것이 가능하다는 장점이 있다. 문화재 관리는 중요하고도 USN이 적용될 수 있는 현실성 있는 분야이지만 아직 이에 대한 연구나 시스템 개발 사례를 찾아볼 수 없다.

본 연구에서는 실시간 온라인 문화재관리를 위한 요구사항을 분석하고, 문화재관리에서 필수적인 화재감시 및 조기 탐지를 위해 적용한 불국사의 개발 사례를 분석하고자 한다. 본 연구는 USN 기술을 문화재관리에 적용하는 첫 번째 시도로써 서비스 모델과 시스템 구조, 센서와 네트워크 설계, 소프트웨어 설계, 현장 시험의 결과를 다루고자 한다. 이는 다양한 분야에서 USN 기반의 시스템을 개발하는데 지침이 될 수 있다.

## 2. 실시간 온라인 화재조기감지 시스템의 요구사항 분석

U-문화재관리 시스템을 개발하기 위해서는 다양한 차원에서 요구사항을 분석할 필요가 있다. 그 첫째는 문화재의 훼손과 변형에 영향을 주는 요인을 찾아내는 것이다.

문화재, 특히 유형문화재는 긴 역사 속에서 훼손되거나 변형되고 있다. 그 훼손이나 변형은 문화재의 유형(석조 문화재, 목재 문화재, 금속 문화재, 지류·섬유류 문화재, 벽화, 도·토기 등)에 따라 다양하다. <그림 1>은 문화재의 훼손 요인을 특성요인도로 나타내 보이고 있다. 문화재 훼손의 주요 요인은 공기, 인재, 사고, 천재 등이며, 인재는 화재?도난?폭동전쟁 등이다. <그림 1>에서 알 수 있는 바와 같이 화재는 문화재 훼손의 중요한 요인이 되고 있다. 실시간 온라인으로 입수된 문화재 관련 정보는 귀중한 문화재의 원형을 영구 보존하는데 그 목적을 둔

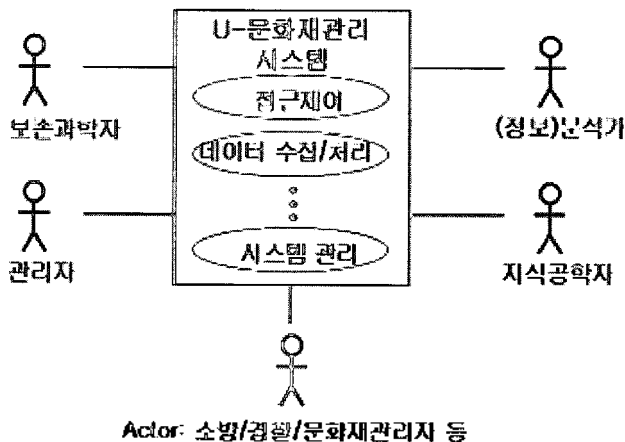


자료: 국립문화재연구소(www.nrip.go.kr)

<그림 1> 문화재 훼손 요인

보존과학(conservation science) 분야에 중요하게 활용될 수 있다.

U-문화재관리시스템의 두 번째 요구사항은 시스템 참여자를 분석하는 것이다. <그림 2>에서는 U-문화재관리 시스템의 참여자와 시스템과의 관계를 사용사례 다이어그램(use case diagram)으로 나타내 보이고 있다.



<그림 2> u-문화재관리 시스템의 배경도

U-문화재관리 시스템을 개발하여 운영하는 데는 문화재 운영기관, 정보분석 및 활용 기관, 연구개발기관으로 대학과 연구소 및 시스템 개발업체, 문화재청, 지방정부, 지원 기관, 기타 이상이 발생시에 이에 대한 조치를 취하는 기관, 일반 관람객 등이 관여하게 된다. <그림 2>에서 나타난 참여자들은 이들 다양한 기관에 소속되어 시스템에 참여하게 된다. 예를 들어 보존과학자는 대학, 연구기관, 문화재청 등에 소속되어 있으며 문화재의 훼손요인을 분석하여 문화재보존을 위한 방안을 제안한다. 본 연구에서는 먼저 <그림 2>의 참여자들을 중심으로 전문가 풀을 구성하여 U-문화재관리 시스템의 개요와 필요성을 설명하고 각 참여자들의 요구사항과 역할을 정의하였다.

셋째는 문화재 훼손요인을 효과적으로 규명할 수 있도록 센서로부터 입수해야할 데이터가 무엇인가를 분석하는 것이다. 본 연구에서 역점을 둔 화재감사를 위해서는 온도, 습도, 기압, 일산화탄소, 연기, 불꽃 등의 데이터가 필요하다. 여기서 유의할 점은 대개 하나의 데이터만으로 훼손요인을 정확하게 분석하기란 어렵다는 점이다. 따라서 본 연구에서는 하나의 센서노드에서 5개 차원의 데이터(온도, 습도, 기압, 일산화탄소, 불꽃)를 입수할 수 있도록 설계한다. 국립산림과학원 및 소방법 규정에 따르면, 산불발생 시 온도는 초당 5C 상승하고, 습도(40% 이하)와 기압(-5mb/초)은 하강하며, 일산화탄소는 30이상이다. 본 연구에서는 센서가 온도, 습도, 기압, 일산화탄소, 불꽃의 데이터를 측정하여 이를 기초로 화재 이벤트가 발생

하도록 센서를 설계한다.

넷째는 기술적 제한 사항으로 전원(전지, 태양, 풍력), 통신거리, 센서의 정확도 및 내구성 등을 분석하는 것이다. 또한 기술표준에 대한 분석도 중요하다. 예를 들어, 센서 네트워크 기술표준(주파수 대역/전송속도 및 출력 전압 표준, 센싱 데이터의 오류 및 왜곡 검증 기준에 대한 표준, 통신 프로토콜 표준, 암호화 방식 표준 등), USN 미들웨어 기술표준(센싱 데이터 관리 기술표준, USN 베이스스테이션과 미들웨어 어댑터간 통신 프로토콜 및 콘텐츠 관리 기술표준 등), 응용 서비스 기술표준(센서 네트워크와 미들웨어간 API(Application Programming Interface) 표준, 관리 지침 표준 등)을 조사하여 가장 적합한 기술표준을 채택할 필요가 있다.

불국사 외벽에 설치하는 경외 센서의 경우는 정기적으로 배터리를 교환하기 어렵기 때문에 솔라셀을 사용한다. 일반적으로 솔라셀의 충전용량은 회로 전력 소모의 3~4배 이상으로 잡아주는 것이 타당하다. 일반적으로 900MHz 센서노드의 경우 통신거리는 40~100m이다. 따라서 불국사 외벽의 경우에는 숲이 우거져 있음을 고려하여 25~30m 간격으로 센서노드를 설치할 필요가 있다. USN에 적용가능한 무선 프로토콜 표준으로는 ZigBee, UWB, Bluetooth가 대표적이다. 센서노드 미들웨어는 다양한 센서 응용 소프트웨어와 운영체제 및 하드웨어 사이에 존재하여 센서 네트워크의 변화를 지원하며 다양한 응용에 필요한 데이터 운용 및 관리 기능을 하게 된다. 현재까지는 센서노드 미들웨어의 국제표준이 마련되어 있지 않은

상황이다.

끝으로 환경적 제한 사항으로 태풍, 낙뢰, 경관과 이미지 훼손 등에 대한 분석이 요구된다. 특히, 문화재가 사람이 접근하기 어려운 산속에 위치해 있는 경우가 많기 때문에 문화재가 처한 자연 환경에 대한 분석이 중요하다. 토함산으로부터 발생한 산불은 즉각 불국사에 화재를 유발하기 때문에 숲이 우거진 외벽에 무선 센서를 설치하여 화재를 조기에 탐지하는 것은 문화재 예방 차원에서 중요하다. 센서노드는 불국사 자연환경을 전달 수 있도록 안전하게 설치되어야 하며, 눈비와 같은 기상환경에 노출되기 때문에 안전한 엔클로징 기술이 적용되어야 한다.

### 3. U-불국사 개발사례: 화재감지시스템

#### 3.1 서비스 모델과 시스템 구조

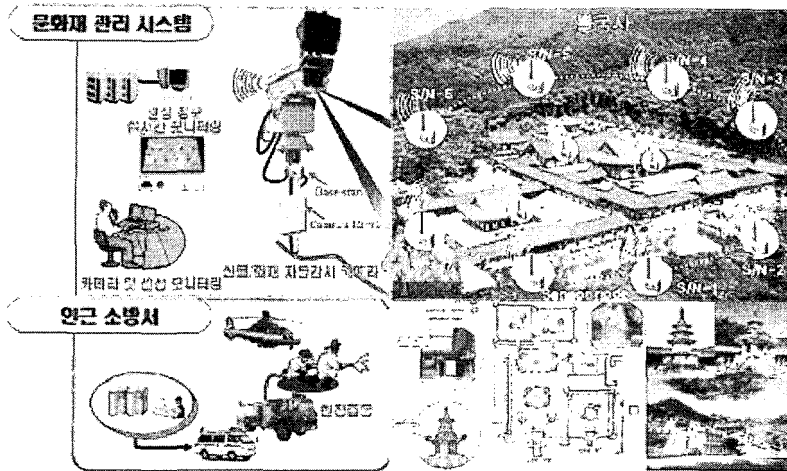
불국사에서는 대부분의 중요 기관에서와 마찬가지로 화재감시와 도난 모니터링 시스템으로 경비가 정기적으로 경내를 순찰하고 자동탐지 시스템으로 경내의 법당에 아날로그 방식의 열감지센서(법당의 화재감지센서), 침입탐지센서(적외선 센서), CCTV를 설치하여 운영하고 있다. 불국사에 근무하는 종사원과 당직스님들은 평소 화재를 감지하는데 신경을 써야 하며, 소방서·의용소방대·시청·전기안전공사·한국전력·경찰서 등의 유관기관과의 비상연락망을 구축하고 누구든지 화재의 발생사실을 최초로 목격하

는 자는 119신고, 구내전파, 초기 소화 등의 초동조치를 취하도록 하고 있다.

아날로그방식의 화재정보 시스템에는 주로 열 또는 연기 센서가 이용되고 있으며, 열 또는 연기가 일정 수준 이상이면 자동적으로 경보시스템이 작동되도록 설계되어 있다. 기존의 아날로그 방식에 의한 시스템의 한계점은 24시간, 특히 야간에 경외의 토함산으로부터 발생하는 화재를 조기에 감지하는 것이 불가능하다는 점이다. 또한 실시간 온라인으로 화재관련 정보를 수집하는데 한계가 있다.

본 연구는 한국정보사회진흥원의 2006년도 USN 현장시험과제에 제안한 USN 기반의 문화재관리 시스템의 일환으로 구축한 U-화재조기감지 시스템의 개발사례에 기초를 두고 있다. 이 시스템은 불국사 및 불국사 소장 국보급 문화재를 보존하기 위해 불국사 경내외에 센서노드와 센서네트워크 연동 카메라를 구축하여 화재를 감시하여 예방하고, 경내 목조건물 환경적 조건의 변화 데이터를 수집하는데 그 목표를 두고 있다.

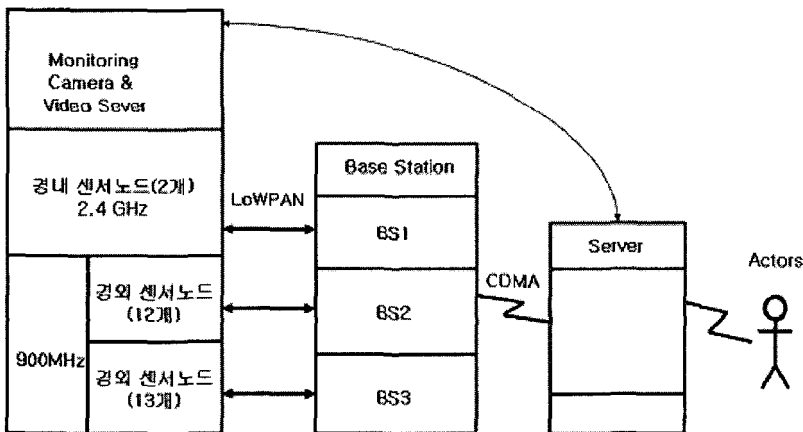
〈그림 3〉에서는 본 연구에서 제안하는 시스템의 서비스 모델을 나타내 보이고 있다. 〈그림 3〉의 우측에 나타낸 바와 같이 불국사의 경내외의 주요 지점에 센서노드를 설치하고, 왼쪽의 관제시스템에서는 실시간 온라인으로 필요한 정보를 입수하여 모니터링 할 수 있는 것은 물론이고 화재발생의 이벤트가 발생하면 자동적으로 감시카메라가 해당 센서노드와 그 인근을 관찰할 수 있도록 해주며 당직자들과 인근 소방서에 자동적으로 통지해 주는 서비스가 제공된다.



〈그림 3〉 서비스 모델

〈그림 3〉의 서비스를 가능하게 하는 시스템 구조는 〈그림 4〉와 같다. 불국사는 토함산 중턱에 위치하여 산불로 인한 화재발생의 위험이 대단히 높다. 따라서 산에서 발생하는 화재를 초기에 탐지하기 위해서는 경외의 담벼락을 따라 센서노드를 설치할 필요가 있다. 〈그림 4〉에서 나타낸 바와 같이

900MHz에 해당하는 12개의 센서노드는 베이스스테이션 2(Base Station 2: BS2)와 저전력의 무선개인네트워크(Wireless Personal Area Network: WPAN)로 연결되고 나머지 13개의 센서노드는 베이스스테이션 3(Base Station 3: BS3)과 연결된다. 일반적으로 센서노드로부터 입수된 정보만으로 화재발생



〈그림 4〉 시스템 구조

여부를 판단하기는 어렵다. 따라서 센서노드로부터 화재발생의 이벤트 정보가 입수되면, 해당 지점을 모니터링할 수 있도록 해주는 감시카메라와 비디오 서버가 필요하다. 화재 발생 이벤트가 있으면 카메라가 자동적으로 해당 센서노드가 위치한 지점을 비추도록 센서노드와 카메라가 연동되어야 한다. 경내의 대응전에 설치된 24GHz 대역의 2개의 센서노드는 베이스스테이션 1(Base Station 1: BS1)과 연결된다. 경내 목조건물인 대응전에 설치된 센서노드로부터 입수된 온도와 습도 등은 보존과학자들에게 문화재 보호에 필요한 정보로 활용될 수 있다.

베이스스테이션의 임베디드 리눅스 보드는 시리얼 포트를 통해 CDMA 모뎀과 통신한다. 임베디드 리눅스 보드는 각 베이스 노드로부터 입수된 데이터를 읽어 들이고, CDMA 모뎀을 통해 서버에 데이터를 전송한다. 여기서 CDMA 모뎀은 전화를 걸어 기지국으로부터 IP를 할당받은 후 서버에

접속을 하고, TCP 소켓 통신을 통해 서버와 데이터를 주고받는다. 예를 들어 센서노드로부터 화재발생 이벤트 정보가 서버에 전달되면, 서버에서는 비디오 서버에 해당 센서노드를 모니터링하도록 지시하게 된다. 따라서 당직자는 센서노드로부터 입수된 정보와 비디오 정보를 기초로 화재 발생 유무를 판단하게 된다.

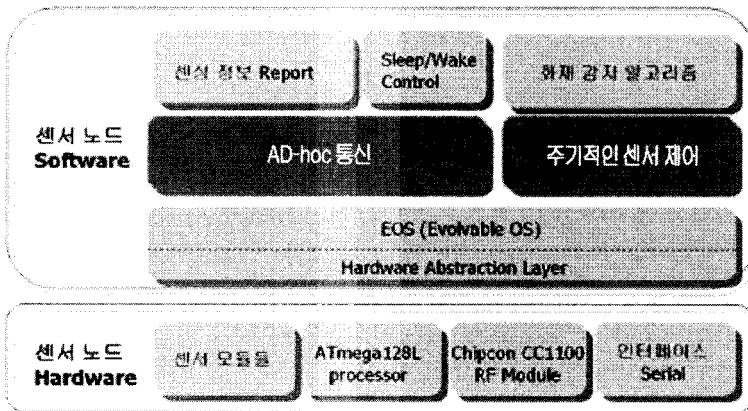
### 3.2 설계

#### 3.2.1 센서노드

<그림 5>에서는 본 시스템 개발에 사용한 센서노드의 구조를 하드웨어와 소프트웨어 부분으로 나누어 나타내었다.

##### 1) 센서노드의 소프트웨어

<그림 5>에 나타낸 바와 같이 센서노드의 소프트웨어는 EOS, ad hoc 통신, 센서제어, 센싱정보보고, Sleep/Wake Control, 화재감지



주)\* EOS는 컨소시엄에 참여한 (주)에스엔알에서 자체 개발한 Ants-EOS이다.

<그림 5> 센서노드의 구조

알고리즘 등의 모듈로 구성되어 있다.

센서 운영체제로는 미국 버클리대학의 TinyOS가 널리 알려져 있다. 본 연구에서는 한국정보통신대학교에서 개발한 Ants EOS를 사용하였다. ANTS 플랫폼은 여러 RF 모듈을 지원하는 MAC 계층과 ZigBee를 지원하는 네트워크 계층과 함께 두 종류의 쓰레드(공유 스택 쓰레드와 개별 스택 쓰레드)를 제공하는 이중 쓰레드 방식의 운영체제로 구성된다.

센서노드의 두 번째 구성요소는 ad hoc 통신모듈이다. 센서노드는 다중 홉(multi hop) 통신을 지원하며 유일한 식별 값을 갖도록 설계되었다. 센서노드는 하나의 부모노드가 하나의 자식노드만을 가지는 형태의 스트링 토폴로지(string topology)로 구성되며 ad hoc 메쉬 네트워크(mesh network)에서 자식노드의 수가 하나로 제한된 구조로 설계되었다.

숲이 우거진 경우, 솔라셀에 충분한 전력

을 공급하기 어렵다. 따라서 저전력 통신을 위한 Sleep/Wake Up 메시지를 이용한 통신이 필요하다. 주기적 센서제어와 Sleep/Wake Up 모듈에서 일정 시간간격으로 센싱정보를 베이스스테이션에 전송함으로써 전력소모를 최소화하도록 센서노드를 설계하였다.

끝으로 화재 감지 알고리즘은 온도, 습도, 기압, 일산화탄소, 불꽃 등의 센서에서 입수한 데이터가 임계치에 도달하면 화재발생의 가능성을 의미하는 보트(vote)의 수가 증가되도록 설계하였다. 예를 들어 불꽃이 일정 시간간격으로 연속 감지되면 보트의 수는 증가하게 되며, 초당 온도의 변화량이 일정수준 이상인 경우에도 보트의 수가 증가된다.

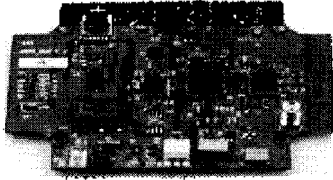
## 2) 센서노드의 하드웨어

본 시스템에서 경내에 설치한 총 25개의 센서노드와 경내에 설치된 2개의 센서노드의 사양은 <표 1>과 같다. <그림 6>의 왼쪽은 경내에 설치된 24GHz 주파수 대역의 센서

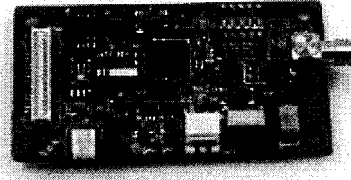
<표 1> 센서노드 사양

경내 센서노드		경외 센서노드	
수집 데이터	온도, 습도, 기압, 조도	수집 데이터	온도, 습도, 기압, 조도, 불꽃, CO
사양	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CPU: Atmega 128L(AVR 8-bit Microcontroller)</li> <li>- 메모리: SDRAM 4KByte, Flash 128KByte, 4Kbyte EEPROM</li> <li>- RF: Chipcon CC2420, 2.4GHz ZigBee (IEEE 802.15.4)</li> <li>- 보안: DSSS 지원</li> <li>- 배터리: AA type x 4 병렬</li> <li>- 전송속도: 최대 250Kbps</li> </ul>	사양	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CPU: Atmega 128L(AVR 8-bit Microcontroller)</li> <li>- 메모리: SDRAM 4KByte, Flash 128KByte, 4Kbyte EEPROM</li> <li>- RF: Chipcon CC1100, 900MHz</li> <li>- 배터리: 라튬이온 2차 전지, 솔라셀 충전 방식</li> </ul>



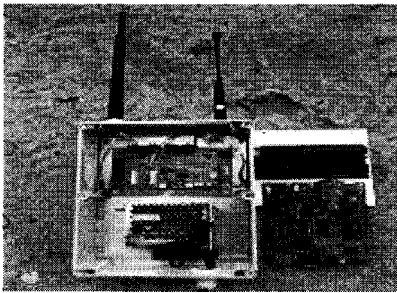


경내



경외

〈그림 6〉 경내외의 센서보드



\* 위에서 시계방향으로 센서보드, CDMA모듈, 프로세스 보드, 메인 전원  
 〈그림 7〉 베이스스테이션 구조

보드, 오른쪽은 900MHz 대역의 경외 센서보드의 구조를 나타내 보이고 있다.

베이스스테이션은 〈그림 7〉에서 나타낸 바와 같이 크게 임베디드 리눅스 보드, 센서 네트워크와의 통신을 위한 센서노드와 CDMA 모듈로 구성되어 있다. 기술적 제원은 〈표 2〉와 같다.

### 3.2.2 네트워크

무선 센서네트워크에서의 정보흐름을 단순하게 순서 다이어그램(sequence diagram)으

〈표 2〉 베이스스테이션의 기술적 제원

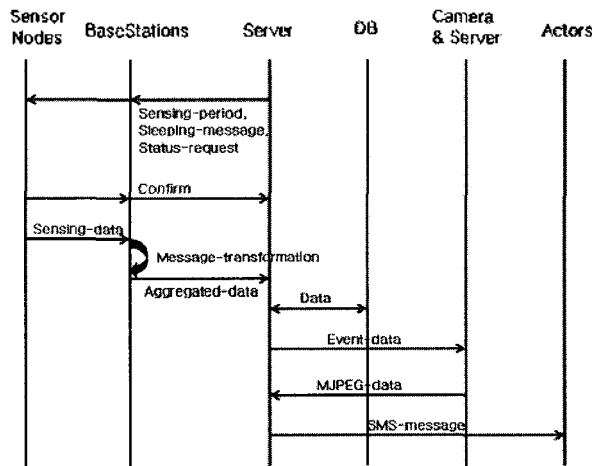
항목	제원
CPU	PXA255 ARM RISC, 400MHz
RAM	64Mbyte SDRAM, 최대 128Mbytes
ROM	64Mbyte NAND Flash, 최대 128Mbytes
CDMA Module	CDMA2000 1xRTT
Ethernet	CS8900 10Mbps
Serial Port	RS232c 3 포트 지원
USB	USB Client
Power	DC5V, 3A
작동온도	-20 ~ 70도
규격	100mm x 140mm

로 나타내면 <그림 8>과 같다. 서버에서는 베이스스테이션을 통해 각 센서노드의 센싱 주기와 전원소모를 최소화하기 위한 휴면기간(sleeping)에 대한 명령은 물론이고 각 센서노드를 관리하는데 필요한 요청 메시지를 각 센서노드에 전송한다.

각 센서노드에서 측정한 데이터는 해당 베이스스테이션을 통해 최종적으로 서버에 전달된다. 각 센서노드는 메시지 종류, 네트

워크 고유번호, 센서노드번호와 함께 센서노드에서 측정한 데이터(<표 3>의 습도, 온도, 압력, 조도 등)를 베이스스테이션으로 전송한다. 베이스스테이션에 집계된 모든 데이터는 변환과정을 거쳐 CDMA 모듈을 통해 서버에 전달된다.

서버에 전송된 데이터는 데이터베이스에 저장되어 서버의 요청에 따라 필요한 형태로 사용자들에게 제공되기도 한다. 특정 센



<그림 8> 네트워크에서의 정보흐름

<표 3> 센싱 데이터 양식

message type	메시지 종류 (측정값 받기 = 1)
network id	네트워크 아이디(0~255)
node id	노드 아이디(0~255)
humidity	습도 측정값(raw data)
temperature	온도 측정값(raw data)
pressure	압력 측정값(raw data)
light	조도 측정값(raw data)
...	...

서노드로부터 이벤트가 발생하면, 예를 들어 화재발생 이벤트 신호가 접수되면 서버는 카메라 비디오 서버에 데이터를 전송한다. 비디오 서버에서는 해당 센서노드의 영상 데이터를 서버에 전송한다. 화재 이벤트는 normal, caution, emergency, fire의 상황으로 분류되고, fire 상태의 이벤트가 발생하면 서버에서는 당직자를 비롯한 소방서에 문자메시지를 전송한다.

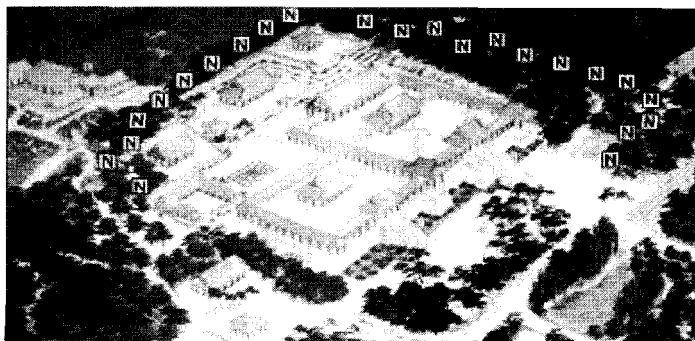
〈표 3〉의 온도, 습도, 기압, 일산화탄소, 불꽃 등은 센서노드가 화재 발생을 조기에 탐지할 수 있는 데이터이다. 먼저 센서노드가 화재 발생의 이벤트를 베이스스테이션으로 보내기 위해서는 화재 감지의 신뢰성을 높이는 것이 중요하다. 요구분석단계에서 제시한 바와 같이 센서로부터 입수된 온도, 습도, 기압, 일산화탄소, 불꽃의 데이터가 임계치에 도달하면 센서노드의 미들웨어 프로그램에서 그 회수를 계산한다. 화재 이벤트가 caution상태 이상이면 카메라 비디오 서버에 신호가 전달되고, fire 상태이면 자동적으로 당직자에게 문자메시지를 보낸다. 화재 발생

을 감지하기 위한 여러 데이터에 대한 종합적 분석과 비디오 정보, 그리고 최종적으로 당직자의 판단은 화재 감지의 신뢰성을 높이는 요소가 된다.

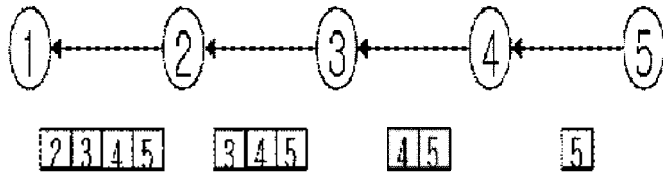
불국사 무선 센서네트워크는 경외 900MHz 대역의 센서노드를 연결하는 네트워크와 경내의 2.4GHz 대역을 사용하는 네트워크로 설계되었다. 900MHz 대역의 네트워크는 불국사의 담벼락을 따라 체인 형태로 네트워크를 이루는 스트링기반 네트워크이다. 스트링 네트워크는 두 개로 나뉘어져 각 스트링 네트워크의 노드가 데이터를 모아 최종적으로 베이스스테이션까지 데이터를 전달하게 된다. 각 베이스스테이션에서는 이들 데이터를 모니터링하는 제어센터인 서버로 전송한다. 2.4GHz 대역의 네트워크는 ZigBee 프로토콜에 기반을 두고 있으며 1hop기반의 트리 라우팅으로 구성된다.

〈그림 9〉에서는 경외 센서네트워크의 가설도를 나타내 보이고 있다.

스트링 토폴로지를 이용한 네트워크[5]에서 구조적으로 컨트롤 패킷을 증가시킴으로



〈그림 9〉 불국사 경외 네트워크



〈그림 10〉 데이터 융합의 과정

써 네트워크 토폴로지가 자주 끊기고 패킷 전송량이 늘어나는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 〈그림 10〉과 같이 패킷 융합 (aggregation) 기능이 구현되었다.

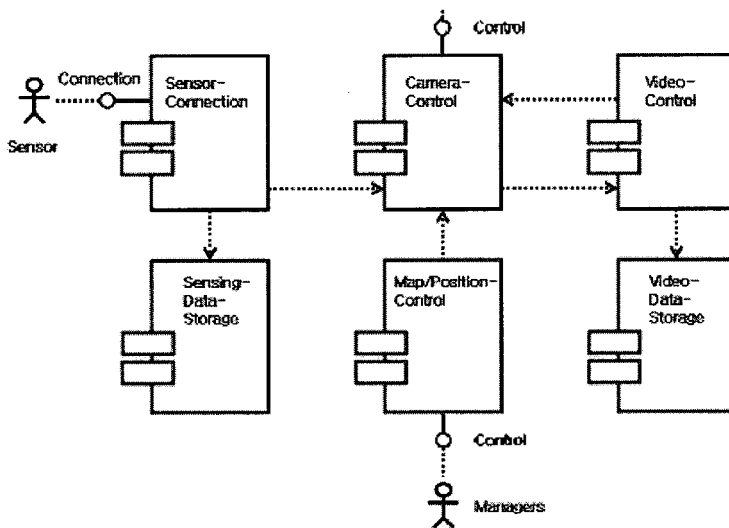
각 스트림 네트워크의 경우 베이스스테이션과 가까운 노드는 데이터 융합시 하위 레벨의 노드로부터 축적된 정보를 전달하여야 함으로 전송 패킷의 길이가 한계 전송 가능 길이보다 길어질 수 있다. 이를 방지하기 위해 센서노드는 전송하는 센싱 데이터를 짧은 단위 패킷으로 나누어 전송하게 되며 전체 융합을 했을 때 크기가 50바이트를 넘지

않도록 총 5번에 나누어 데이터를 전송한다.

### 3.2.3 소프트웨어

베이스스테이션을 통해 센서노드로부터 오는 데이터를 관리하기 위한 서버는 리눅스 운영체제, MySQL 5.0, 아파치 웹 서버를 사용하였으며 컴포넌트 개발언어로는 C++, 자바언어, XML을 이용하였다.

서버에서 센서와 카메라 등을 제어하는 주요 소프트웨어를 컴포넌트 다이어그램으로 표현하면 〈그림 11〉과 같고, 각 컴포넌트의 기능은 〈표 4〉와 같다. 대부분의 컴포넌



〈그림 11〉 컴포넌트 다이어그램

〈표 4〉 컴포넌트의 기능

컴포넌트	기능
센서연동 컴포넌트 (Sensor-Connection)	감지센서에서 들어오는 데이터를 수신하는 데몬(Daemon). 센서 신호를 분석하여 데이터를 저장하고 화재 경보 신호 시 카메라 제어 컴포넌트를 통해 상황에 따른 카메라 제어를 요청한다.
카메라 제어 컴포넌트 (Camera-Control)	센서 연동 컴포넌트에서 긴급 신호를 수신할 때, 또는 관리자가 맵 선택을 통해 긴급 지역으로 카메라를 이동하는 명령을 하여 감시 영역의 변화가 발생할 때는 카메라 이동 명령을 생성한다.
맵/위치 제어 컴포넌트 (Map/Position-Control)	관리자의 맵 선택이나 카메라의 위치 이동 요청 시 해당 명령을 카메라 제어 컴포넌트에 전달한다.
영상 제어 컴포넌트 (Video-Control)	카메라의 영상에 대한 처리를 담당한다.
센서 데이터저장 컴포넌트 (Sensing-Data-Storage)	센서 연동 컴포넌트를 통해 수신된 데이터를 데이터베이스에 저장한다.
영상 데이터저장 컴포넌트 (Video-Data-Storage)	응급 상황이 발생 시 해당 영상을 저장장치에 저장한다.

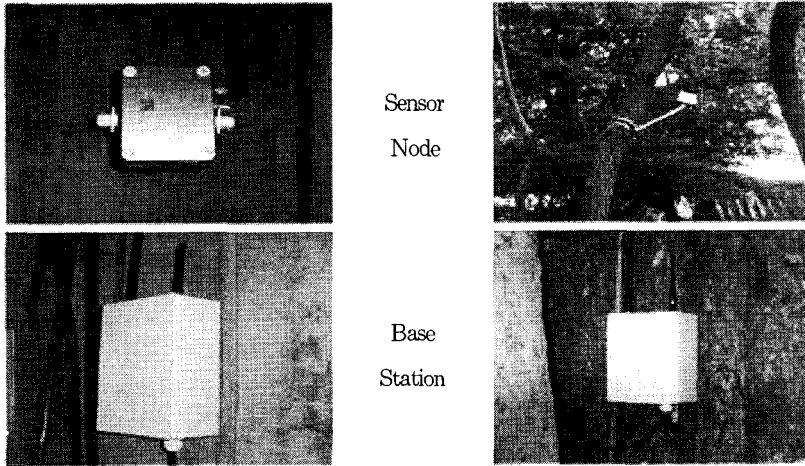
트는 DLL 파일로 서버에 적재되어 있다. DLL은 애플리케이션 실행 시 바로 램에 적재되는 것이 아니라 필요할 때만 램에 적재되기 때문에 더욱 효율적 방법으로 메모리가 사용된다. 또한 DLL을 사용함으로써 하나 이상의 사용자가 데이터에 접근하는 것

이 가능해진다.

〈그림 11〉에서 센서노드와 센서연동 컴포넌트는 connection 인터페이스를 통해 통신한다. 이 connection 인터페이스는 〈표 5〉에 나타난 API를 사용하고 있다. 이 인터페이스를 통해 서버는 베이스 스테이션과 접속하

〈표 5〉 센서와 Sensor-Connection 컴포넌트간의 인터페이스

waitConnection()	서버 소켓을 열고 클라이언트의 접속을 기다린다.
closeConnection()	서버 소켓을 닫는다.
read(struct sensor_sensing* ss)	클라이언트인 베이스스테이션으로부터 메시지를 읽고 파싱하여 sensor_sensing 구조체에 넣는다.
write(struct sensor_control* sc)	센서제어(sensor_control) 명령을 클라이언트인 베이스스테이션으로 보낸다.



〈그림 12〉 센서노드와 베이스스테이션

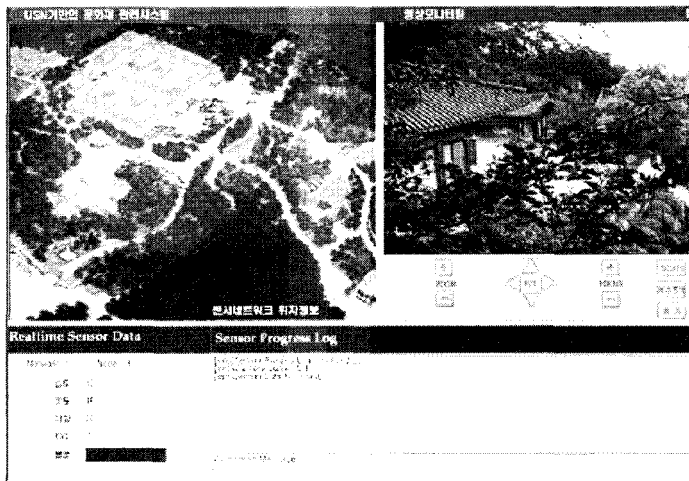
고, 센서노드의 메시지를 읽어 해석하고 센서에 명령어를 전달한다.

### 3.3 시험결과

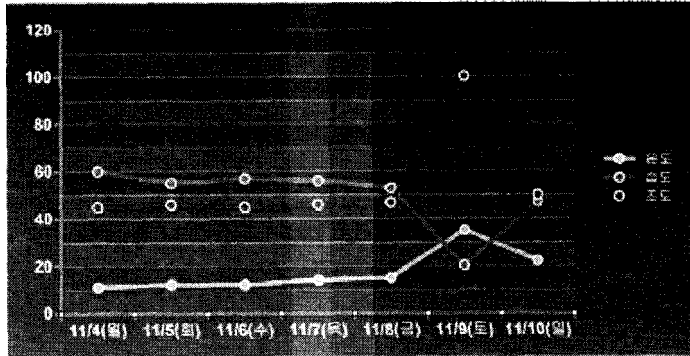
〈그림 12〉에서 왼쪽 상단은 경내에 설치

된 24GHz 센서노드, 왼쪽 하단은 경내의 센서노드를 연결하는 베이스스테이션, 오른쪽 상단은 경외에 설치된 900MHz 센서노드, 오른쪽 하단은 경외 센서노드를 연결하는 베이스스테이션을 나타내 보이고 있다.

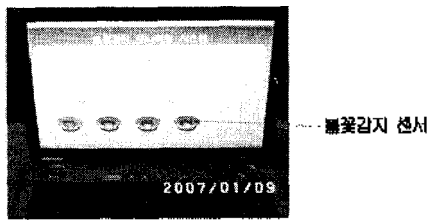
〈그림 13〉은 불국사 중무소에 설치된 서



〈그림 13〉 서버의 모니터링 화면



〈그림 14〉 센서노드에서 입수된 온도, 습도, 조도의 일별변화



〈그림 15〉 불꽃감지 성능시험

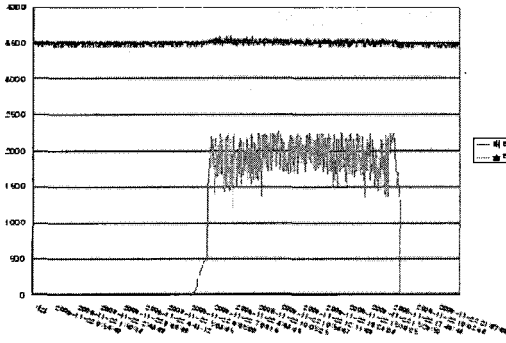
버의 모니터링 화면을 나타내고 있는데, 상단 왼쪽은 센서 네트워크의 위치정보, 상단 오른쪽은 지정한 특정 센서노드를 비추는 카메라 화면, 하단의 왼쪽은 지정한 특정 센서노드에서의 온도·습도·기압·CO·불꽃 데이터를 나타내 보이고 있다. 사용자는 상단의 위치정보 화면에서 특정 센서노드를 클릭하거나 하단에서 센서노드 번호를 입력하여 결과를 관찰해 볼 수 있다. 각 센서노

드에서 입수된 데이터를 누적하여 〈그림 14〉과 같이 그래프로 관찰해 볼 수도 있다.

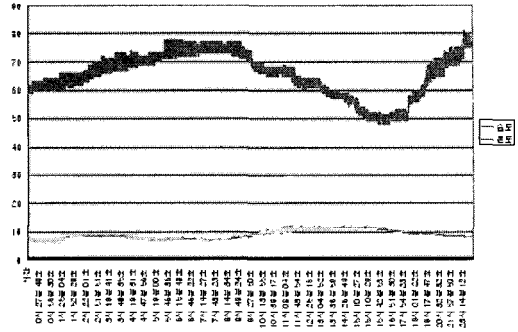
센서노드로부터 실시간 온라인으로 입수되는 온도, 습도, 기압, 일산화탄소, 불꽃에 관한 데이터는 데이터베이스에 저장된다. 따라서 관리자는 시간, 일, 월, 연도별 데이터를 다양한 관점에서 분석해 볼 수 있다. 향후, 실제 화재 발생시 수집된 데이터는 화재 발생 이벤트의 신뢰성을 높이는 유용한 정보로 활용될 수 있다.

본 시스템에서는 30cm의 불꽃이 센서노드와의 거리에 따라 어떻게 감지되는지를 시험하기 위해 특정 센서노드를 안전한 장소에 설치하여 감지거리를 30m, 40m, 70m간격으로 시험해 보았다. 〈그림 15〉에서는 시험 환경에서의 결과를 나타내고 있는데, 30cm의 불꽃과 센서노드가 30m와 40m인 경우는 잘 감지되었지만 70m인 경우는 자외선과 적외선의 영향으로 성능이 다소 떨어짐을 관찰하였다.

〈그림 16〉은 불국사 환경에서의 배터리와 솔라셀의 시간대별 변화량을 나타내고 있다. 〈그림 17〉은 불국사 외벽에 설치된 센서로



〈그림 16〉 시간에 따른 배터리와 솔라셀 변화



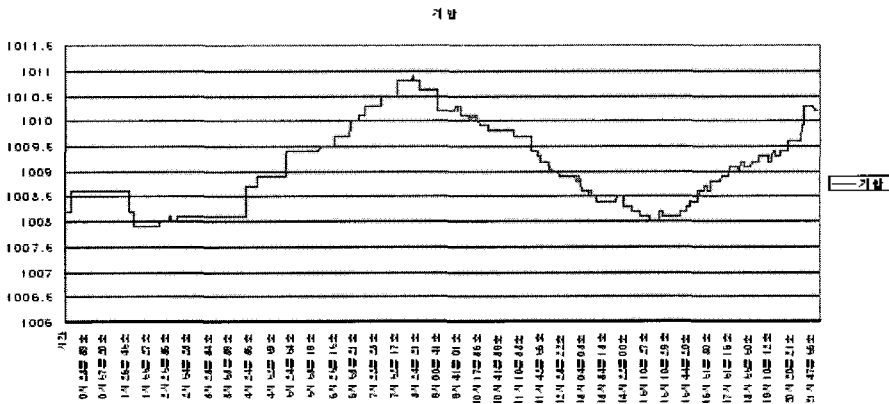
〈그림 17〉 시간에 따른 온도와 습도의 변화

부터 수집된 습도와 온도의 변화를 나타내고 있으며, 〈그림 18〉은 시간대별 기압의 변화를 나타내고 있다. 센서로부터 입수된 온도, 습도, 기압은 불국사의 실제 온도, 습도, 기압과 일치하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구는 U-불국사 실현을 위한 초기 단계로서 USN 기반의 화재탐지 모니터링 시스템의 개발사례를 제안하였다. U-문화재관

리 시스템을 구축하기 위해서는 누가 무엇에 대한 정보나 데이터를 어떤 형식으로 필요로 하며, 하나의 상황에 대해서도 다양한 정보를 입수하여 신속하고 편리하게 관계자들에게 이를 제공하는 것이 중요하다. 본 연구에서 제안한 시스템에서는 화재탐지를 위해서 하나의 무선 센서노드로 불꽃, 온도, 습도, 기압, 일산화탄소 등의 다차원 정보를 입수하도록 하였다. 또한 본 시스템은 화재 이벤트가 발생하면 자동적으로 관계자들에게 긴급 상황을 통지하여 조기에 화재를 진압할 수 있는 기회를 제공하도록 개발되어



〈그림 18〉 시간에 따른 기압의 변화량



불국사의 중요한 문화재가 화재로부터 소실될 수 있는 위험을 줄이고자 하였다.

시스템은 화재발생을 조기에 탐지하여 그 신뢰도를 높여야 하며, 한편으로는 센서가 환경에 지나치게 민감하게 반응하여 실제 화재가 발생하지 않았는데도 화재발생 이벤트를 산출하여 관계자들에게 긴급 상황을 통지하여 그 신뢰도를 떨어뜨려서는 안 된다. 본 연구의 시스템에서는 센서노드로부터 화재 발생에 대한 여러 데이터를 수집하여 종합적으로 이를 분석함으로써 정확도를 높이고자 하였다. 한편 불국사의 안전한 지역에 실제와 유사한 환경을 마련하여 센서가 30cm의 불꽃을 센서노드와 불꽃의 거리에 따라 화재 발생을 어떻게 탐지하는지를 시험하였다. 그 거리가 40m인 경우에도 정확하게 센서가 화재발생을 탐지하는 것으로 나타났다. 불국사에는 약 25-30m 간격으로 센서가 설치되어 있다는 점에서 화재 발생 시 이를 탐지하는 데는 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한 문화재 환경에 대해 입수된 데이터는 통계처리와 분석은 물론이고 이력 관리 등에 활용될 수 있도록 하였다.

현재까지 USN에 관한 대부분의 연구는 이론적 또는 실험실 환경에 적용되어 오는 수준이었다. 그러나 본 연구는 실험실 환경의 수준을 넘어 실제의 업무 환경, 즉 불국사라는 국보급 문화재가 다수 존재하는 현실적 상황에 적용되어 몇 개월 동안 시험 운영되고 있다는 점에서 현실적인 시사성이 크다고 할 수 있겠다.

두 차례의 화재 모의실험을 통해 시스템이 잘 작동되는 것을 관찰하였지만, 본 연구

에서 제시한 시스템이 실제 화재 발생시 어느 정도 신뢰성을 갖고 있는지에 대한 문제는 여전히 남아 있다. 실제 환경에서의 신뢰성 문제는 센서노드간의 거리와 관련될 수 있다. 현재 경외 센서노드가 25~30m 간격으로 설치되어 있어 환경적 영향요인으로 인해 통신거리에 한계가 있을 수 있다. 이러한 경우에는 센서노드의 설치간격을 좁히거나 900MHz 대역을 433MHz 대역으로 변경하여야 한다. 현재까지 USN에서 433MHz 대역은 표준주파수로 허용되어 있지 않다. 또한 화재 발생시에 이를 진압할 수 있는 시스템과 자동적으로 연계되지 않는 경우 그 효과를 극대화하는데 한계가 있다.

본 연구는 U-불국사의 초기 버전이기 때문에 향후에는 U-문화재관리와 U-관광을 융합하는 시스템 개발로 확장될 수 있다. 본 연구에서 제안한 시스템은 USN 기반으로 화재 정보뿐만 아니라 문화재의 부식·균열·기울기 등의 정보도 입수하여 관리하는 것은 물론이고 불국사를 방문하는 관광객들에게 휴대 단말기로 현장에서 개인화된 문화재 관련 콘텐츠를 받아볼 수 있는 시스템으로 확장될 수 있다.

---

## 참 고 문 헌

---

- [1] 장병준, 안선일, 이윤덕, "RFID/USN 기술개발 동향", 정보과학회지, 제23권, 제2호, pp. 83-87, 2006.

- [2] 정보통신부, 세계 최초의 유비쿼터스 사회실현을 위한 U-KOREA 기본계획, 2006.
- [3] Akyildiz, I.F., T. Melodia, and K.R. Chowdhury, "A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks", *Computer Networks*, Vol.51, pp. 921-960, 2007.
- [4] Arampatzis, T.D., J.A. Lygeros, S.A. Mansis, "A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the 13th Mediterranean Conference on Control and Automation*, pp. 719-724, June pp. 27-29, 2005.
- [5] Cui, S., R. Madan, A. Goldsmith, and S. Lall, "Joint Routing, MAC, and Link Layer Optimization in Sensor Networks with Energy Constraints," *IEEE International Conference on Communications*, Vol. 2, pp. 725-729, May 2005.
- [6] Tomioka, K. and K. Kondo, "Ubiquitous Sensor Network System", *NEC Technical Journal*, Vol. 1. No. 1, pp. 78-82, 2006.
- [7] Zang, L. and Z. Wang, "Integration of RFID into Wireless Sensor Networks: Architectures, Opportunities and Challenging Problems", *Proceedings of the Fifth International Conference on Grid and Cooperative Computing Workshops*, 2006.

## 저 자 소 개



주재훈  
현재

(E-mail : givej@dongguk.ac.kr)  
동국대학교(경주캠퍼스) 경영·관광대학  
전자상거래학과 교수  
한국해양대학교 공학사  
부산대학교 경영학석사, 경영학박사



임재걸  
현재

(E-mail : yim@dongguk.ac.kr)  
동국대학교(경주캠퍼스) 과학기술대학  
컴퓨터멀티미디어학과 교수  
동국대학교 공학사, 공학석사  
일리노이 주립대학교 공학박사