



사례  
발표

## WiBEEEM 방식의 화재감지 및 대기오염 모니터링시스템 : 대구지하철역 적용사례

### 목 차

1. 서 론
2. 비컨기반 MAC, NWK 프로토콜
3. 지하철 적용사례
4. 결 론

이상철 · 이동하 · 강원석  
(대구경북과학기술연구원)

## 1. 서 론

현재 u-City 핵심 서비스를 위해 사용 가능한 외국의 USN 기술은 ZigBee 기술과 IEEE 802.15.5 기술이 있고, 국내의 USN 기술은 IP-USN 기술과 WiBEEEM 기술이 있다. 특히, WiBEEEM 기술은 Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh network의 약자로 전체 매쉬 네트워크가 비컨(Beacon) 정보로 동기화 되어 안정적으로 절전형 매쉬 네트워크 기술을 구현하여 u-City의 어느 위치에 있는 u-City 통합 운영 센터까지 센싱정보를 통신망 사용료를 지불하지 않고 전송할 수 있다. 또한 이미 구축된 u-safety WiBEEEM 인프라를 통해 센싱 정보를 전달하므로 환경과 시설물에 관련된 센싱 정보도 추가로 전송이 가능하므로 다양한 서비스를 함께 제공할 수 있어서 활용도를 높일 수 있으며 서비스 간의 상호운용성정도 보장되는 장점이 있다[1].

본 논문에서는 TinyOS에 최적화되도록 설계된 WiBEEEM 방식으로 개발된 연구결과물을 최근 대구도시철도공사 지하철역(2호선 계명대역)

에 현장 설치하여 수행한 결과를 소개하고자 한다. 논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 공통으로 사용되는 IEEE 802.15.4를 비컨기반 프로토콜과 비교하여 MAC층과 NWK층에 대해 설명하고 3장에서는 현장 설치내용과 실시간 지식정보 처리 서버를 소개하고 결론을 맺고자 한다.

## 2. 비컨기반 MAC, NWK 프로토콜

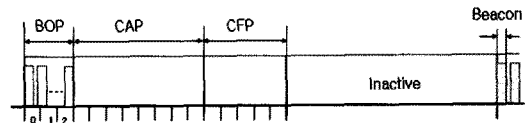
WPAN(Wireless Personal Area Network)에서 센서 노드들 간 통신을 지원하기 위하여 대표적인 프로토콜로써 IEEE 802.15.4[2] 이 있으며, 기본적으로 Star Topology를 지원하여 중앙의 coordinator가 비컨을 통하여 통신을 제어할 수 있지만, 단순히 1 hop거리의 노드들을 위한 제한된 기법을 제공하기 때문에 다수의 비컨이 존재하는, 다중 경로 멀티 홉 환경의 Mesh구조에서는 적용이 부적합하다. 최근 제안된 BOP(Beacon Only Period)[3] 및 NAA(Next Address Assignment)[4] 기법은 실제 테스트베드에 구현되지 못하였으며, 센서 노드 역시 TinyOS와 같은 안정적인 운영체제를 지원하지 못해 라우팅을 위한 Flooding 패킷들과 비컨과

의 충돌을 해결하지 못하여 네트워크 트래픽량이 쉽게 증가하여 성능을 떨어뜨리는 결과를 보였다. 또한 실제 지하철 공간에서 화재 및 대기 상태를 모니터링 하기 위해서는 실시간으로 데이터베이스를 구축하고 데이터를 처리할 수 있어야한다.

### 2.1 MAC layer functions

MAC 계층에서는 기본적으로 Beacon Scheduling, Association, Channel accessing (CSMA/CA), Recovery process를 수행한다. 이 기능들을 수행하기 위해서 WiBEEM\_MAC component 에서는 WiBEEM\_MAC\_SAP 인터페이스와 WiBEEM\_MLME\_SAP 인터페이스를 정의하여 각각 데이터 전송 서비스와 관리 서비스를 제공한다.

우선 살펴볼 (그림 1)의 Superframe 구조는 802.15.4 표준의 Superframe 구조와 비슷하지만 Beacon 만 전송할 수 있는 16 slot 으로 구성된 BOP구간이 추가되어 beacon scheduling을 수행한다. 첫 번째 Slot은 오직 PAN Coordinator 만이 사용할 수 있고 나머지 Slot은 각 노드가 부모의 Beacon을 듣고 이웃이 사용하는 Slot을 피해 노드 스스로 결정하게 된다. 이러한 Time Slot을 결정하고 사용하기 위해서는 BI(Beacon Interval), BOP, myBTTS 등 각 구간동안 시간을 측정하고 이벤트로 알려줄 Timer가 필요하다. 노드가 자신의 Slot을 결정하기 위해 PAN Coordinator는 End Device의 Scan을 마치고 PAN을 시작하기 위해 Beacon을 전송한다. PHY계층으로부터 Beacon을 정상적으로 전송했음이 확인되면 Beacon Interval동안 시간을 측정하고, Beacon이 전송될 때 다른 노드가 이 Beacon을 듣고 PAN Descriptor에 기록해 두었다가 Scan이 끝나면 LQI(Link Quality Indicator)가 가장 좋은 채널의 PAN Coordinator에게 Association을 요청하게 된다[5].



(그림 1) Superframe 구조

각 노드는 전원을 켜고 PAN에 참여하기 위해 Association 과정이 필요하며, 이를 위해 노드 유형을 PAN Coordinator, Router, End Device로 분류한다. 하지만 MAC계층에서의 FFD(Full Function Device)는 PAN Coordinator를 포함하여 기존의 PAN에 참여하지 않고 PAN을 형성하고 관리하며 Beacon enabled mode에서 주기적으로 Beacon을 전송한다. 이에 비해 RFD(Reduced Function Device)는 Association을 위해 PAN을 탐색하는 Channel Scan 프로세스를 수행한다. Network layer의 명령에 의해 Scan 하면서 각 채널별로 수신하는 Beacon에 대한 정보를 기록하고 11~26번까지 모든 채널을 Scan한 후 상위 layer로 알린다. 수집된 각 채널의 Beacon 정보 (PAN Coordinator, channel, 신호 세기 등)를 참고하여 수신신호 세기가 가장 센 Beacon을 전송한 Coordinator에게 요청하고 capability information을 확인해서 할당할 16bit 주소를 NAA(Next address assignment)를 통해 계산한 후 노드에게 전달되고 Association과정은 종료된다. 하지만 여기까지의 과정은 router와 end device 두 노드 유형의 공통적인 사항이고 만약 Association을 요청한 노드가 router이면 Association과정 후 network layer에 요청해서 router 자신만의 영역을 구성하는 추가 과정을 거치게 된다.

### 2.2 Network layer functions

Network 계층에서는 Network Formation, Join & Leave, Routing, Next address assignment, Recovery process 등의 기능을 수행한다.

이러한 동작들을 위해서 WiBEEEM\_NWK component 에서 WiBEEEM\_NLDE\_SAP 인터페이스와 WiBEEEM\_NLME\_SAP 인터페이스를 정의하고 각각 데이터 전송 서비스와 Join & Leave와 같은 관리 서비스를 제공한다.

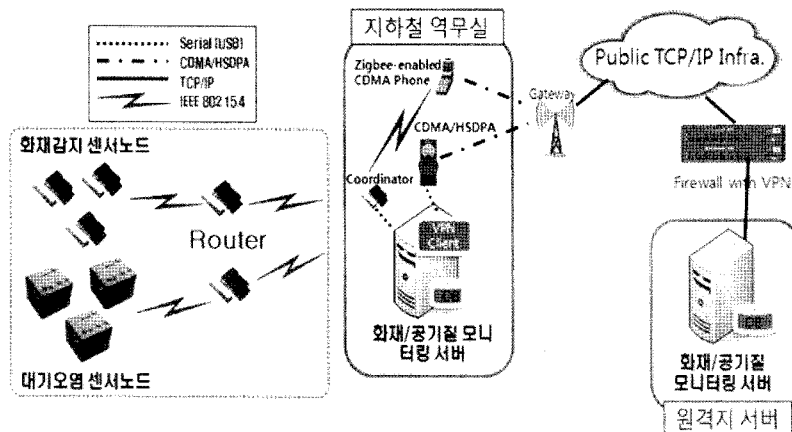
센서 노드의 전원이 켜지게 되면, association 을 하게 되는데 이 때 라우터로부터 주소를 할당 받는다. 이 때 ZigBee에서는 IEEE 802.15.4 표준 MAC 계층에서 사용하는 16비트 주소를 할당한다. 이 방식은 정해진 식에 따라 고유의 주소를 할당하는데, 16비트 주소 공간 낭비가 심하다. 또한 동적으로 변하는 네트워크를 지원하는 데 문제점이 있다. 따라서 16비트 주소 공간을 낭비 없이 사용하면서 동적으로 변하는 네트워크를 지원하기 위한 새로운 주소 할당 방법이 필요하다. 이를 위해 NAA 주소 할당 방법을 이용한다. NAA는 association하는 기기에게 네트워크에서 마지막으로 할당된 다음 번호를 기기의 새로운 주소로 할당한다. 따라서 16비트 주소 공간을 낭비 없이 사용하며, 동적으로 변하는 네트워크를 지원할 수 있다. Association이 정상적으로 이루어지면 Device의 Association 요청에 Response로 응답을 해준 기기가 Router일 경우에는 PAN Coordinator에게 Device에게 할당해준 주소를 사용해도 되는지 확인 및 PAN Coordinator의

NAA값을 업데이트시키기 위한 목적으로 NWK 계층에서 주소 할당 명령을 전송한다.

무선 센서 네트워크에서 동작 중 MAC 계층에서 문제 발생 시 복구 작업은 기본적으로 Association 재설정으로 구현한다. 이를 위하여 아래와 같이 문제 발생 Detection, 문제 해결 순으로 진행한다. 먼저 MAC 단에서 문제 발생은 센싱 데이터를 전송 후 특정 시간 이내 연속적으로 Pending 상태가 되는 경우로 정의한다. 즉 센싱 데이터를 전송 후 일정 시간 이내에 Pending Flag 가 복구 되어야 하는데 계속적으로 Pending 상태가 Off 가 될 때 문제 발생으로 고려하고 router 또는 coordinator와 재접속을 시도하여 네트워크 계층의 불필요한 RREQ (Route Request) 패킷의 flooding을 최소화시킬 수 있으며, 대역폭의 낭비를 막을 수 있다.

### 3. 지하철 적용사례

(그림 2)는 센서네트워크 전체 시스템 구성을 보여주고 있으며, 이는 크게 센서 노드망, 정보 수집기, 원격지 서버단으로 나누어서 살펴볼 수 있다. 센서 데이터의 전송경로는 센서 노드망으로 부터 코디네이터로 집중되어져 지하철 역무실내에 설치된 PC급 정보수집기의 DB화 되며, 이를 CDMA/HSDPA 전송장치를 통하여 TCP/

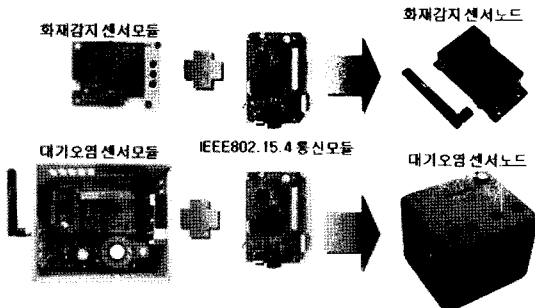


(그림 2) 센서네트워크 시스템 구성도

IP 네트워크로 연결된다. 일반적으로 방화벽이 구성된 경우가 많으며 최종적으로 DGIST 사무실에 설치된 원격지 서버로 저장된다. 또한, 위험 신호를 역무실의 서버 혹은 CDMA 망을 통해서 WiBEEEM 통신모듈이 내장된 CDMA폰으로 실시간으로 메시지를 전송받을 수 있어 위험지역에 있는 이용자에 대한 안전서비스가 가능하다.

### 3.1 센서노드

(그림 3)의 화재감지와 대기오염 센서노드를 제작하여, (그림 4)와 같이 벽면 혹은 천장에 설치하였다. 이때, 설치 편의성과 안정적인 사용시간을 보장하기 위하여 2종의 배터리 팩을 별도 제작하고, AA건전지 팩은 화재감지용으로 센서노드 주변에 납축전지 팩은 대기오염용으로 바닥에 설치하였다.



(그림 3) 화재감지와 대기오염 센서노드 조립도



(그림 4) 센서노드와 배터리팩 연결도

<표 1>과 같이 사용되어진 총 11종의 센서는 소형/저전력 형으로 제작하여 환경부 기준인 정

상상태(steady state) 평균치는 만족하지 못하지만, 유독가스의 유입형태가 고농도로 넓은 공간으로 확산되므로 과도상태(transient response)에서 민감도가 높기 때문에 순시적인 검출이 가능하도록 하였다. 또한, 혼합가스에서 오동작을 방지하기 위해 상호간섭성 (Cross sensitivity)이 우수하도록 제작하여, CO, HCHO, SO<sub>2</sub> 가 혼합된 매연이 지하철로 유입시에도 정확한 측정이 가능하며 이외의 경우 단일재, 페인트, 접착제 등의 건축 내장재에서 발생하는 HCHO 검출이 가능하도록 하였다.

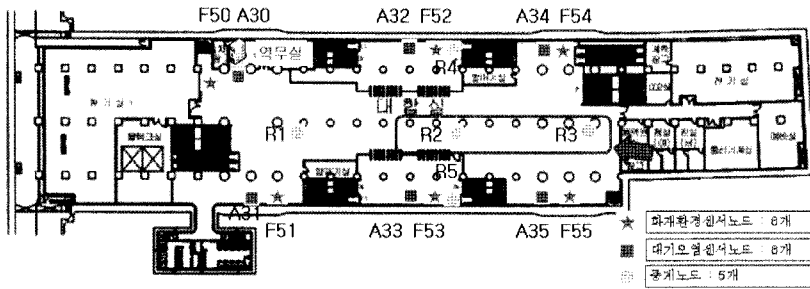
<표 1> 센서 및 통신 모듈사양

	화재감지모듈	대기오염모듈	통신모듈
센서 종류	온도, 습도, 조도, 가스, 연기 (5종)	CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , HCHO, 미세먼지 (6종)	-
CPU (RF)	PIC16F777	PIC16F777	ATmega128L (CC2420)

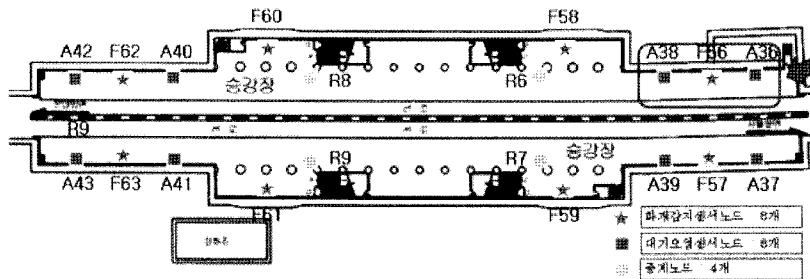
### 3.2 센서노드 배치 및 라우팅(Routing)

지하철 역의 규모(2000m<sup>2</sup> ~ 3000m<sup>2</sup>)를 고려하여 대합실을 6개 지역으로 승강장을 8개 지역으로 각각 구분하여 총 28개의 센서노드를 10m~20m 간격으로 배치하였다. (그림 5)와 같이 대합실은 화재감지 (F50~F55), 대기오염 (A30~A35), 라우터 (R1~R5)를 설치하고, (그림 6)과 같이 승강장은 화재감지 (F56~F63), 대기오염 (A36~A43), 라우터 (R6~R9)를 설치하였다. (그림 7)은 대합실과 승강장에 설치된 현장사진을 보여주고 있다. 특히, 지하철 역에 원통형의 기둥이 많이 존재하여 LOS(Line of Sight)가 보장되지 못하는 구조였으며, 이를 극복하고 통신품질이 양호한 지점을 선정하는데 시행착오가 많았다.

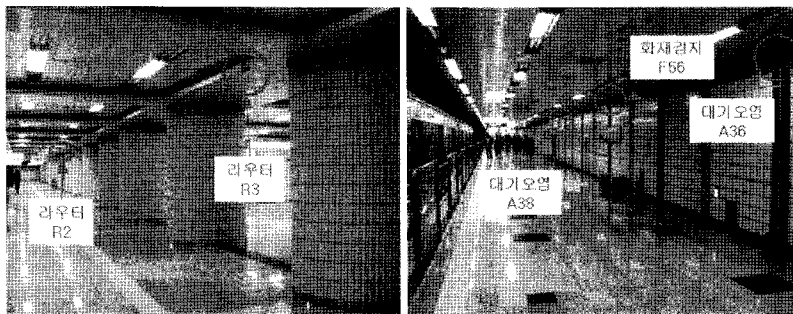
(그림 8)은 중간 라우팅을 위한 라우팅 설치 위치를 보여주고 있으며, R4와 R6 그리고 R5와 R7를 통해서 대합실과 승강장과 경로를 확보하도록 하였다.



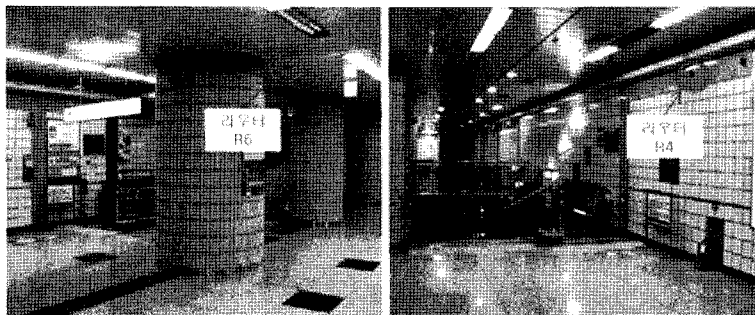
(그림 5) 대합실(지하2층) 센서노드와 라우터 배치도



(그림 6) 승강장(지하3층) 센서노드와 라우터 배치도



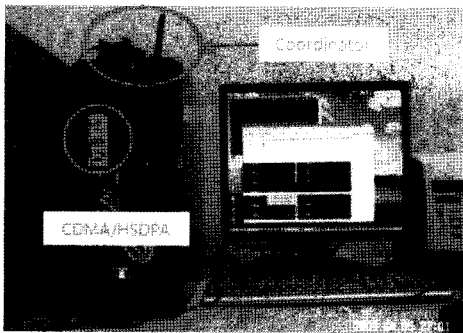
(그림 7) 그림5(좌)와 그림6(우)의 화살표방향에 본 설치위치



(그림 8) 승강장(좌)과 대합실(우)간의 라우터 설치위치

### 3.3 자료수집 및 전송

지하철 역사내의 실시간 데이터 수집 및 상황 판단을 위해 KIP-AF (KIP-AF : Knowledge Information Processing for Air sensors and Fire sensors)라 불리는 지능형 정보처리 시스템을 개발하여 수행하였다. KIP-AF는 개발환경으로 OS는 windows systems(2003, XP)를 이용하였고, 센서데이터 저장을 위해서 Postgresql-8.2 RDBMS를 사용하였으며, Visual Studio 6.0를 이용하여 구현되었다. 그리고, 지하철 역사 내에서만 데이터를 수집을 하는 것이 아니라 외부의 이기종 네트워크 연동 시범을 위해서 VPN 상에 있는 DGIST내에 있는 KIP-AF와 연동처리되도록 시스템 환경을 구축하였다. 지하철 역사내에 DB화된 자료는 CDMA/HSDPA 방식의 T-login 단말장치로 원격지 서버로 TCP/IP 접속에 의해 DGIST내에 있는 KIP-AF에 자동 전송된다. (그림 9)는 앞에서 설명한 기술들을 구현하여 실제 센서 네트워크 환경의 멀티센서데이터들에 대한 지능형정보처리를 수행하고 있는 실행화면이다.

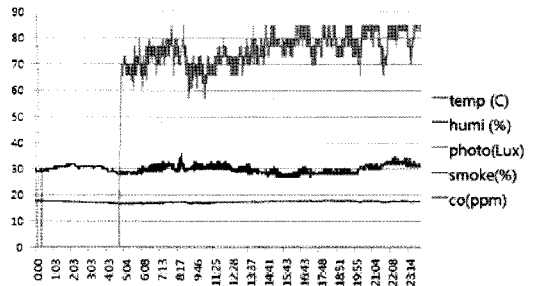


(그림 9) 지하철 역사내에 설치된 정보수집 및 외부전송 시스템

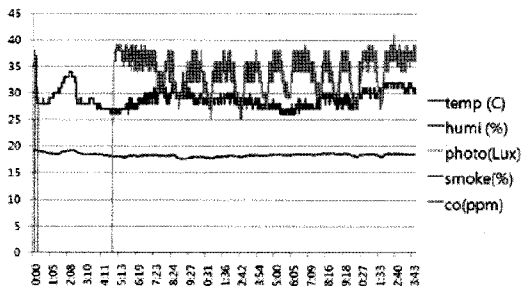
멀티센서데이터 기반 지능형 정보처리는 센서 네트워크 환경의 응용서비스 모델로 화재감지 및 대기오염 센서 데이터를 기반으로 위험요소를 추론하여 주변 사람들에게 위험상황 정보 및 대처 방법을 제시하는 시스템이다. 지능형 정보

처리는 화재 및 대기 센서데이터 기반 지능형정보처리라 하며, KIP-AF의 구성 모듈들로서 “멀티 센서데이터 기반 기술언어 표현 기술”은 규칙기반으로 구축되어 있고, “멀티 센서데이터 기반 추론 모델 기술”은 계산 모델 및 규칙기반 모델을 사용하여 상황판단을 수행한다. 멀티 센서데이터 속성에 맞게 실시간 처리를 위하여 “실시간 멀티 센서데이터 버퍼관리 기술”이 구축되어져 있다. 버퍼관리 기술은 가중치, 거리벡터, 우선순위 속성을 이용하여 실시간 처리를 수행한다. 그리고 센서네트워크 환경은 실시간 모니터링 할 수 있는 “GUI component”와 위험정보를 주변 사람들의 이동단말기 상으로 통보해주기 위한 “Post Processing for the result”이 구축되어져 있다[6].

온도, 습도, 조도의 경우 적정값으로 측정되었으며, 연기와 일산화탄소의 미감지로 화재상황으로 인식되지 않았으며, 대기오염 자료는 환경부 측정방식과 다른 점이 있어 공개하지 않았다.



(그림 10) 화재감지 센서(대합실, F53)



(그림 11) 화재감지 센서노드(승강장, F63)

#### 4. 결론

IEEE 회의에서 발표된 WiBEEEM 기술의 핵심은 기기의 고속이동성 지원기술과 QoS 지원 기술로 ZigBee 기술과 IEEE 802.15.5 기술, IP-USN 기술은 모두 IEEE 802.15.4의 PHY와 MAC을 이용하므로 QoS를 지원하지 않는다. 그러나 WiBEEEM 기술은 자체로 개발한 향상된 MAC을 이용하므로 QoS를 지원함은 물론 기기의 이동성과 비컨기반 절전형 동작 모드도 지원하는 진화된 USN 기술로 Parameterized QoS와 Prioritized QoS를 동시에 지원하여 재난과 같은 긴급 상황을 다른 센서보다 우선순위에 따라 먼저 송신할 수 있는 기능을 제공하는 핵심 기술이다.

반면, 현장적용 단계에서 확인한 바와 같이 상대적으로 높은 센서 소비전류로 인한 배터리 교체주기가 짧아 유지보수에 비용이 발생하며, 멀티홉이 발생하는 경우 네트워크가 불안정해지는 문제가 있어 이를 보완할 수 있는 센서 저전력화와 네트워크 운영방식의 안정성을 확보해야 할 것이다.

#### ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 교육과학기술부의 대구경북과학기술원 일반사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

[1] 전호인, "WiBEEEM:u-City 핵심 서비스 구현을 위한 최적의 USN 기술", IT standard weekly, 2007.  
 [2] Draft IEEE Std. 802.15.4, Part 15.4, "Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications

for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", September 2006.

[3] Ho-In Jeon and Y.S. Kim, "BOP and beacon scheduling for MEU devices", ICACT 2007, Feb. 2007.  
 [4] Ho-In Jeon and Y.S. Kim, "Efficient, Real-Time Short Address Allocations for USN Devices using LAA Algorithm", ICACT 2007, Feb. 2007.  
 [5] K. Srinivasan and P. Levis, "RSSI is Under Appreciated," In Proceedings of the Third Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNets 2006).  
 [6] 김영덕, 강원석, 안진웅, 이동하, 유재황, "지하철 역사에서 실시간 안전 모니터링을 위한 비컨 기반의 무선 센서네트워크 설계 및 구현", 철도학회논문집, 2008.

#### 저자약력



이 상 절

1994년 포항공과대학교 전자전기공학과(학사)  
 1996년 포항공과대학교 전자전기공학과(석사)  
 2002년 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부(박사)  
 1999년~2002년 위덕대학교 정보통신과 겸임교수  
 2002년~2003년 프랑스 국립과학원 post-doc  
 2003년~2004년 한국전기연구원 메카트로닉스연구팀  
 2004년~2005년 대구기계부품연구원 메카트로닉스센터  
 2006년~2008년 삼성SDI, 삼성테크윈 책임연구원  
 2008년~현재 대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터  
 관심분야 : USN(energy harvesting, battery-less), RTLS, tele-operation, u-healthcare  
 이 메 일 : sclee@dgist.ac.kr



**이 동 하**

1985년 경북대학교 전자공학과(학사)  
2001년 경북대학교 전자공학과(석사)  
2005년 경북대학교 전자공학과(박사)  
2006년 경북대학교 경영학과 T-MBA 수료  
1987년~2005년 (주)LG전자 S/W연구실장  
2004년~현재 영남대학교 겸임교수  
2005년~2008년 대구경북과학기술연구원 연구부장  
2009년~현재 대구경북과학기술연구원 선임연구부장.  
관심분야 : 영상처리, DTV시스템, 임베디드소프트웨어  
이 메 일 : dhlee@dgist.ac.kr



**강 원 석**

1998년 영남대학교 컴퓨터공학과(학사)  
2000년 영남대학교 컴퓨터공학과(석사)  
2000년~2004년 한국과학기술연구원 연구원  
2005년~현재 대구경북과학기술연구원 연구원.  
관심분야 : USN, 로보틱스, 시뮬레이션/모델링, 분산처리  
이 메 일 : wskang@dgist.ac.kr