

논문 2008-08-06

## 수경재배 적용을 위한 저전력 프로세서 기반의 센서노드 하드웨어 설계

(Design of Low Power Processor based Sensor Node  
Hardware for Applications of Hydroponics )

강문호, 김태화, 최병재\*, 김희철

(Mun-Ho Kang, Tae-Hwa Kim, Byung-Jae Choi, Hie-Cheol Kim)

**Abstract** : There are many researches to build up ubiquitous environment by the Ubiquitous Sensor Network(USN). These applications, such as home network, health care, natural environment and agricultural areas are implemented by an embedded system. Their fields are gradually spreading. However the power consumption in its implementation plays an important role on the surrounding environment of the wireless network. In this paper, we design low power processor based sensor node platform for agricultural applications. We also compare its some performance with existing products.

**Keywords** : USN, MCU, Zigbee, Sensor Node, Platform, Hydroponics

### 1. 서 론

미래는 디지털 정보기술의 급속한 발전으로 음성 · 영상 · 데이터 등 모든 형태의 정보가 다양한 통합 단말과 서비스를 통해 융합되는 디지털 컨버전스(Digital Convergence) 현상이 보편화될 전망이다. 또한 모든 일상용품에 유비쿼터스 컴퓨팅 기능이 내재되어 누구든지 언제 어디서나 원하는 개인맞춤형 서비스를 편리하게 이용할 수 있는 지능기반의 유비쿼터스 사회로 발전될 전망이다. 이러한 유비쿼터스 사회의 실현에 RFID 기술과 USN 기술이 있다. USN은 태그와 센서로부터 사물이나 환경정보를 감지하거나 이를 저장, 가공, 통합해 상황인식정보와 지식콘텐츠를 만들어 활용하는 것으로써 언제, 어디서나, 누구나 원하는 지식과 서비스를 이용할 수 있는 첨단 지능형 사회의 기반인프라

이다. 특히 우리나라는 IT 839 전략의 3대 인프라 중의 하나로 선정하여 다양한 기술개발을 추진하고 있다.[1]

최근 농어촌 u-IT 서비스 실현에 많은 관심이 기술어져 있는데 농어촌 u-IT 서비스는 농작물의 온도, 습도, 조도 등의 실시간 측정을 위한 USN 시스템으로써 농작물 재배환경의 과학화를 위한 비즈니스 모델이다. 이러한 모델은 실시간 최적 생장 환경 구현을 위한 환경제어시스템, 원격지에서 농작물 환경을 자동으로 인지할 수 있는 웹서비스 시스템, RFID 시스템과 USN 시스템 간 연동 데이터 베이스 체계를 구현함으로써 이루어진다. 이러한 비즈니스 모델을 구축하기 위한 가장 기본적인 요소로 센서노드의 개발을 필요로 한다. 센서노드는 교통, 환경, 물류유통, 의료, 안전 등 전 산업 분야에 적용되어 유비쿼터스 사회 구축을 주도할 전망이다. 이러한 센서노드가 기존 RFID 기술에 비하여 가장 큰 장점은 센서로부터 주위 환경을 모니터링 하면서 최적의 네트워크를 구성 및 기존의 유무선 통신 기술을 이용하여 사용자가 원하는 네트워크 구성이 가능하다는 것이다. 센서 네트워크의 활성화를 위해서 해결해야 할 핵심 과제 중 하나는 배터리교체 없이 장시간 동작하게 하는 저전력 센서노드의 구현이다. 현재 선보여지고 있는 응용서비

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 3. 14., 채택확정 : 2008. 4. 6

강문호, 김태화 : 유비쿼터스 신기술 연구센터

최병재, 김희철 : 대구대학교

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 수행되었음 (08-기반-13, IT특화 연구소: "유비쿼터스 신기술 연구센터" 설립 및 운영)

스에서의 센서노드는 다수의 노드를 광범위한 환경에서 분산 배치하여 이용되기 때문에 전원을 자주 교환하는 것이 어렵다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 저전력 센서 네트워크 구현을 위해 운영체제, MAC 및 라우팅 프로토콜, 저전력 회로 등 여러 측면에서 기술 개발이 이루어지고 있다. 또한 응용서비스에 따라 노드의 설치 용이성이 고려되므로 센서노드의 소형화, 경량화가 필수적이다.[2][3]

본 논문에서는 온도, 습도, 이슬점, 조도, 기압, 지온 및 배양액 수온 등의 농작물 성장환경 정보를 이용하여 농작물 성장환경 모니터링 및 제어 시스템에 응용 가능한 센서노드를 구현하여 적용하고자 한다. 또한 배전시설이 취약한 농촌 환경이기 때문에 저전력 센서노드가 절실히 요구되고 있는바 현재 개발 방향이 Single-Chip의 추세에 있긴 하지만 저전력 프로세서와 센서를 이용하여 센서노드를 설계한다. 그리고 구현된 센서노드와 타 센서노드와의 소비전류, 인식거리 등을 비교, 분석해 본다. 이에 2장에서는 기존 센서노드 하드웨어 플랫폼에 대한 국내외 현황에 대하여 알아보고 3장에서 저전력 프로세서로 구현된 메인모듈과 농업용 센서모듈에 대한 설계내용에 대해 설명한다. 4장에서는 센서노드의 성능을 테스트하고 소비전류 등을 측정하여 타 센서노드와 비교, 분석한다. 5장에서는 실제 유리온실에서 테스트메트를 구축한 내용을 설명하고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 센서노드 하드웨어 플랫폼

현재 많이 알려진 상용 센서노드들은 사용하는 MCU에 따라 그림 1과 같이 크게 3가지로 분류할 수 있다. MICA 시리즈는 가장 널리 사용되는 것으로서 1999년 처음으로 WeC라는 플랫폼으로 UC Berkeley에서 연구, 개발 되었으며 매년 다른 모델로 개발되어 2003년 MICA라는 모델로 시작하여 2004년 MICA2 [7], 2005년 MICAz [8]를 출시하였다. MICAz는 ATmega MCU를 탑재하였으며, IEEE802.15.4/Zigbee를 지원하는 센서노드이다. 센서노드의 메인보드에 다양한 센서를 탑재한 센서 보드를 스택형식으로 장착할 수 있다. 2004년 초에 출시된 Tmote 시리즈는 MSP430 시리즈의 MCU를 사용함으로써 저전력을 구현하였고 Telos에서 개발하였다. Telos [9]는 IEEE 802.15.4 표준을 지원하는 최초의 센서노드로서 wake-up time이 6[ $\mu$ s]로 MICA 시리즈 보다 훨씬 빠른 뿐만 아니라 전력소모 역시 훨씬 적다. Imote [10]는 Intel

과 UC Berkeley에서 공동 개발 한 것으로서 32bit ARM core를 사용하였다. 대용량의 메모리와 고속으로 데이터를 처리하는 특징을 가진다. 12MHz의 클럭으로 기존 MICA mote 보다 4배정도의 성능을 보이며 512KB의 프로그램 메모리와 64KB의 RAM을 사용한다. MICAz와 Tmote의 RF 모듈은 TI사의 CC2420을 쓰는 데 반해 Imote는 Zeevo사의 2.4GHz band Bluetooth를 사용하여 최대 720kbps의 전송률을 가지기 때문에 많은 데이터 전송이 가능하다. 이 3가지 모델을 바탕으로 하여 국내외 많은 업체들이 센서노드와 센서모듈들을 개발하여 출시하고 있다.

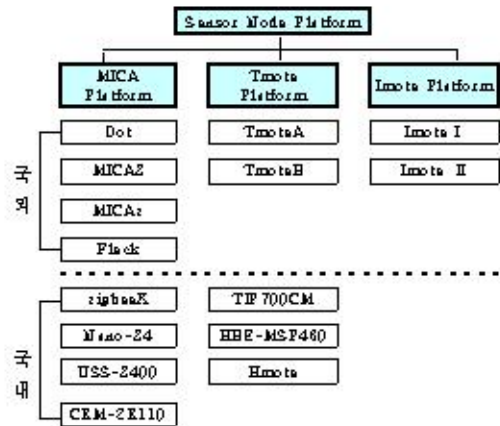


그림 1. 대표적인 국내외 상용센서노드  
Fig 1. Common sensor nodes

현재 센서노드의 RF 트랜시버 칩은 IEEE 802.15.4 표준 및 Zigbee에 기반한 CC2420과 같은 single-chip과 MCU core까지 내장한 CC2430과 같은 SoC 구조에 따른 개발이 이루어지고 있으며, 이러한 연구는 특정목적에 맞는 칩을 개발하는데 연구초점이 맞추어져 있다. 이에 국내에서도 Radiopulse사에서 MG2400 [11]이란 모델로 Zigbee SoC를 개발하였다. 하지만, 아직 SoC 기술로 특화된 센서노드는 요구사항에 미치지 못하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 저전력 프로세서인 MSP430 MCU를 사용하여 농업분야에 적용 가능한 센서노드 플랫폼을 설계하고자 한다.

### III. 시스템 설계

#### 1. 하드웨어 구성

본 시스템은 저전력을 구현하기 위하여 MCU로는 TI사의 MSP430F1611 [12] 프로세서를 선정하였다. MSP430F1611은 다양한 Low Power Mode(LPM)를 제공하여 필요한 클럭만 사용하는 등 Atmel사의 ATmega128L[14] 보다 훨씬 작은 전력소모량을 나타낸다. 그리고 비교적 많은 내부 RAM(10KB)이 내장되어 있어 OS 및 full function의 MAC을 구현할 수 있다. RF 트랜시버는 널리 알려져 있으며, IEEE 802.15.4/Zigbee를 지원하는 TI사의 CC2420 [13]를 사용하였다.

디버깅을 하기 위해 JTAG 커넥터를 쓸 수 있도록 하였으며, USB를 통하여 전원 및 시리얼 인터페이스가 가능 하도록 설계하였다. 칩 안테나를 기본으로 실장 하였으며, 높은 이득이 필요한 경우 다이폴 안테나를 사용 할 수 있도록 설계하였다. 3개의 LED로 노드의 상태를 표시 할 수 있도록 하였으며, 확장 커넥터를 통하여 각 센서들의 값을 센싱하고 ADC를 통하여 프로세서가 값을 읽어 들이도록 하였다. 전원은 외부 전원, USB, 배터리 중에 선택하여 얻을 수 있다.

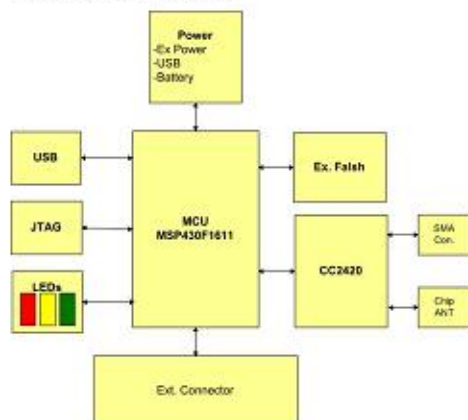


그림 2. 센서노드 블록 다이어그램

Fig 2 Block diagram of sensor node

#### 2. 하드웨어 설계

##### 1.1 메인 모듈

설계된 메인모듈은 그림 3과 같이 1.5V AA 사이즈의 배터리를 2개 사용할 수 있도록 배터리홀더를 PCB 아래에 부착하였으며, 40mm × 60mm 크기로 PCB를 제작하였다. 보드 상측과 하측에 있는 확장 커넥터는 각각 24pin으로 ADC, 외부 인터럽트,

UART, SPI, I2C 등을 연결하여 센서모듈 등 확장성을 고려하였다.

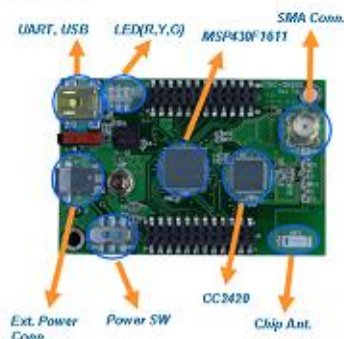


그림 3. 메인모듈

Fig 3. Main module

##### 1.2 센서 모듈

센서모듈은 농업에서 적용 가능 하며 최소전력으로 구현 가능한 필수적인 센서들을 선별하고, 이를 하나의 모듈로 구현시켜 테스트를 하였다. 그림 4는 온도, 습도, 조도 및 압력 센서를 구현한 센서 모듈의 모습과 메인모듈과 연결한 모습이다. 지온, 수온 측정을 위한 센서모듈은 1-wire 디지털 값으로 온도 측정이 가능한 센서를 사용하여 3선으로 된 케이블을 이용하고 방수 처리하여 제작하였다. 이렇게 제작된 센서모듈은 그림 5에서와 같이 인터페이스 보드의 Jack을 통해 메인 모듈과 연결된다.

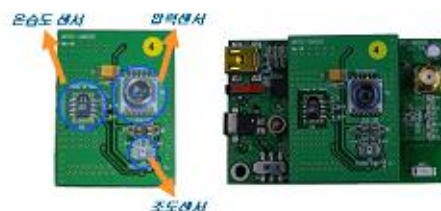


그림 4. 온도, 습도, 조도, 기압 센서모듈  
Fig 4. Sensor module for temperature, humidity, barometer and illuminance



그림 5. 지온, 수온 센서모듈 및 인터페이스 보드  
Fig 5. Sensor module for soil and water temperature & Interface board



1.3 전력제어 모듈

제어장치를 동작시키기 위한 전력제어모듈은 릴레이 소자를 사용하지 않고 Photo coupler와 Triac를 이용하여 전력소모를 최소화 하도록 하였으며 부하단과 절연 할 수 있도록 설계하였다. 릴레이 소자의 스펙에서는 18~ 24mA의 전류소모에 제어전력은 120W내외 이지만, 설계한 모듈은 4mA의 전류소모와 600W를 제어할 수 있다. 이 모듈을 센서노드에 부착하여 실제 스탠드(220V)를 동작시키는 테스트를 해 보았으며, 비닐하우스나 유리 온실 등의 창 개폐, 장치 on/off 등 농작물 자동화 시스템에 응용 될 수 있다.



그림 6. 전력제어 모듈

Fig. 6. Power control module

IV. 성능 시험

1. 센서 동작시험

센서들의 데이터를 확인 할 수 있도록 NI사 LabWindow/ CVI 프로그램을 이용하여 모니터링 프로그램을 구현하여 확인 하였다.

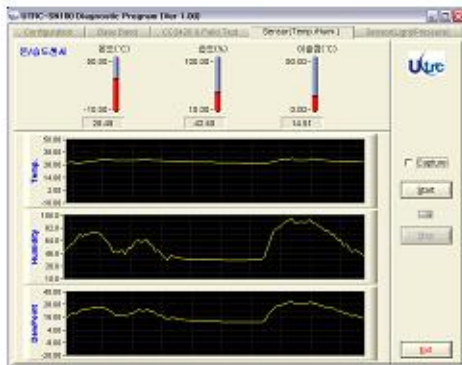


그림 7. 온도, 습도 동작 테스트

Fig. 7. Operation test for temperature and humidity

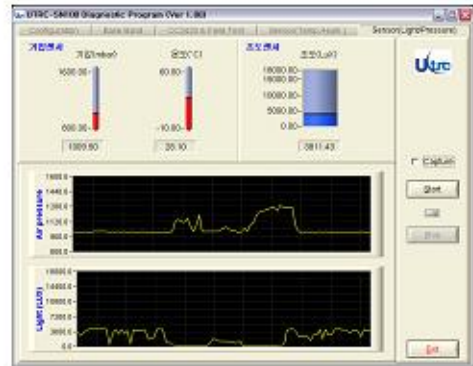


그림 8. 기압, 조도 동작 테스트

Fig. 8. Operation test for barometer and illuminance

온도와 습도를 동시에 측정 가능한 센서인 SHT11을 이용하여 측정한 값을 모니터 화면에 표현한 것은 그림 7과 같다. 측정한 온도와 습도 값을 이용하여 이슬점도 실시간으로 표현 되고 있다. 조도를 측정하기 위한 LX1971센서와 온도에 대한 보정된 기압을 측정하기 위한 MS5534B 센서의 동작을 확인하고 측정한 값을 모니터 화면에 표현한 것은 그림 8과 같다.

2. 소모 전류 시험

프로세서를 제외한 모든 하드웨어 설계를 동일하게 설계, 구현한 센서노드를 비교대상으로 하여 좀 더 정확한 소모전류 비교를 해 보았다. 비교대상은 ATmega128L을 이용하여 설계한 센서노드이다. 배터리를 통하여 3V 공급 시 센서노드의 전체 소모전류를 측정하여 비교한 결과는 표 1과 같다. 각 센서모듈에 사용된 센서들의 소모전류를 측정하고 타 센서들과 그 값을 비교한 것을 표 2에 나타 내었다.

표 1. 모드별 소모전류 비교

Table 1. Comparison of power consumptions based on modes

Mode	메인모듈 소모전류 (mA)	
	ATmega128L	MSP430F1611
Sleep	7.3	7.2
Active	TX'	36
	RX''	38

\*CC2420 Spec, TX(0dBm) 모드시 17.4mA

\*\*CC2420 Spec, RX 모드시 18.8mA

표 2. 센서 모듈 및 전력제어모듈 소모전류  
Table 2. Current consumptions of sensor module and power control module

구분	소모전류	
	구현센서	타 센서
온,습도	SHT11 : 28 $\mu$ A	온도 : 56 $\mu$ A~33nA 습도(HCZ-H6A) : 200 $\mu$ A
조도	LX1971 : 41 $\mu$ A	TSL2550 : 350 $\mu$ A
기압	MS5534 : 4 $\mu$ A	A201-100 : 2.5nA

구분	소모전류	제어전력
Relay	18~24nA	120W 내외
Triac	4nA	600W 내외

### 3. RF 성능 시험 및 인식거리 시험

#### 3.1 RF 성능 시험

RF 단 임피던스 매칭을 한 후, 스펙트럼 분석기에서 RF 출력을 확인한 모습을 그림 9에서 나타내었다. 최대, 최소 출력에서 스펙과 거의 유사한 출력을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

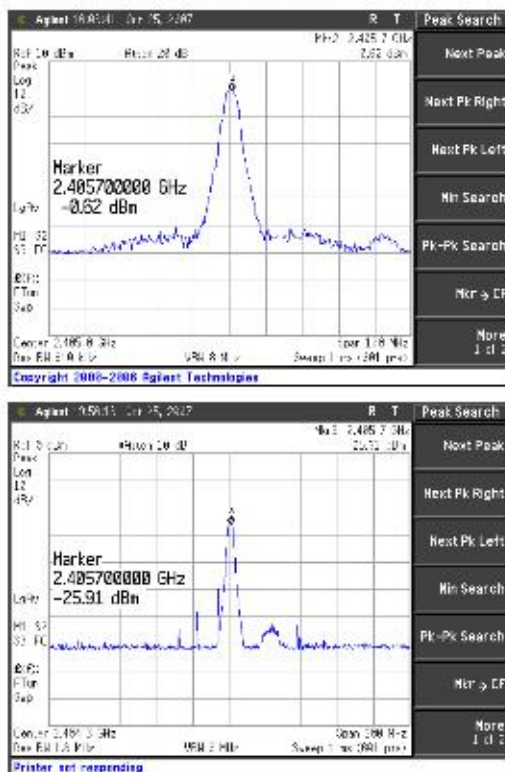


그림 9. RF 출력(0dBm, -25dBm : ch 11)

Fig. 9. RF Output Power(0dBm, -25dBm : ch 11)

#### 3.2 인식거리 시험

RF Field Test를 위한 모니터링 프로그램은 그림 10에서 보는 것과 같이 PAN ID와 Source 및 Destination Address 변경이 가능하며, 채널 설정, Output Power Level 조정 등을 하여 원하는 데이터를 보낼 수 있다. 송신하는 노드에서는 보내는 데이터 값을 입력할 수 있으며, 송신 횟수 및 Interval을 설정 할 수 있다. Destination 즉 수신하는 노드에서는 PER(Packet Error)과 RSSI (Received Signal Strength Indication)값을 확인 가능하며 수신된 데이터의 ASCII값을 표현한다.

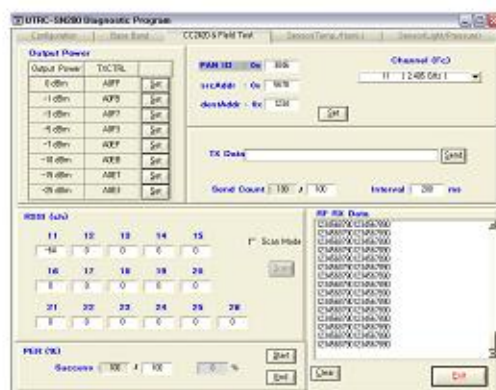
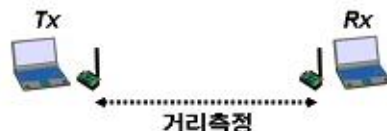


그림 10. RF 테스트를 위한 모니터링 프로그램  
Fig. 10. Monitoring program for RF Test

표 3. 인식거리 및 수신율(RF Power : 0dBm)  
Table 3. Recognition distance and receiving rate

거리	RSSI(dBm)	수신율(%)
5m	-62	100
10m	-68	100
20m	-75	100
30m	-78	100
40m	-70	100
50m	-73	100
60m	-70	100
70m	-75	100
80m	-81	97
90m	-81	96
100m	-85	95

이 프로그램을 이용하여 야외에서 RF 출력을 0dBm으로 고정시킨 후, 그림 10과 같이 2대의 노트

복에 센서노드를 연결한 후, 인식거리를 테스트 해 보았다. 20byte의 패킷을 200ms 간격으로 1000회 이상 송신하여 수신된 데이터를 확인하고 PER이 1% 이내의 RSSI값을 측정하여 표 3에서 나타내었다. 그 결과 70m까지 100%의 인식률을 보였으며 최대 120m에서도 인식되었다.

## V. 테스트베드 구축

### 1. 유리온실 테스트베드 구축

테스트베드가 구축된 유리온실의 모습은 그림 11과 같다. 천장에는 대기의 온습도 및 조도에 따라 조절되는 자동 개폐 시스템이 설치되어 있다. 온실내부에는 18개의 배지에서 딸기가 재배되는 환경이며, 이를 6곳의 구역으로 나누어 각 구역의 환경을 모니터링 할 수 있도록 하였다.



그림 11, 유리온실 내부 및 외부

Fig 11, Inside and outside of greenhouse



그림 12, 설치된 센서노드

Fig. 12, Sensor node in the greenhouse

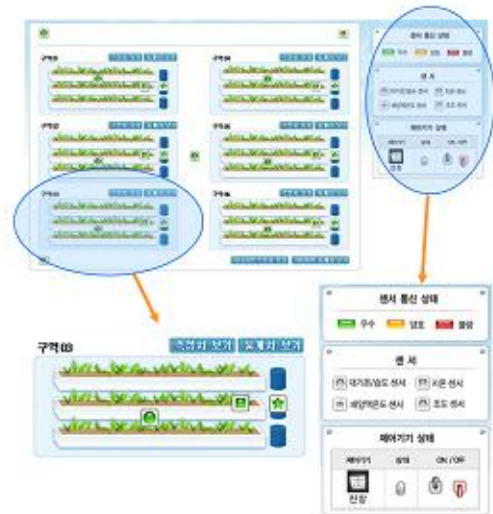


그림 13, 모니터링 시스템

Fig. 13, Monitoring system

테스트베드에는 22개의 센서노드가 그림 12와 같이 설치되었다. 각 센서노드는 유리온실내의 환경정보를 게이트웨이로 보내주게 되며, 이렇게 모여진 정보들은 본 센터에서 개발한 프로그램을 통해 웹페이지에서 실시간으로 그림 13과 같이 볼 수 있게 되며 서버에 데이터를 자동으로 저장 하게 된다.



## VI. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 농촌 u-IT 기술을 선도하는 농작물 자동화 시스템에서 사용 가능한 센서노드를 설계, 구현해 보았다. 소모전류 시험결과에서도 알 수 있듯이 MSP430F1611을 사용함으로써 ATmega128에 비하여 Active 모드에서 10mA정도 적게 소모된다는 것을 알 수 있었다. 따라서 배터리를 1200mAh 2개를 사용한다고 가정했을 때, ATmega128 기반의 센서노드보다 약 36% 더 긴 life time을 가질 수 있다. 구현된 센서모듈을 이용하여 대기의 온도, 습도, 조도 및 배지의 지온, 배양액의 수온 등의 측정값을 읽어 들여 실제 농촌 자동화 시스템에 적용될 수 있도록 유리온실에 테스트 베드를 구축하여 테스트를 해 보았다. 향후 저 전력의 토양관련센서(EC, Ph 등) 대기관련센서(CO, CO2 등)를 이용한 센서모듈을 개발하여 더 많은 정보를 센싱하여 다양한 응용 서비스 모델에서 사용할 수 있을 것이다.

하드웨어 측면에서 전력소모를 최소화하는 연구에 추가하여 OS와 MAC, 라우팅 프로토콜에서의 소비전력을 줄이기 위한 연구도 필요하다. 궁극적으로는 새로운 대체전원을 통하여 전력소모에 관한 부담 없이 반영구적으로 동작 가능한 센서노드 개발이 요구된다.

## 참고문헌

- [1] 김지은, 김세한, 경은철, 김내수, USN 센서노드 기술동향, ETRI, 2007.6
- [2] 박승민, 센서 네트워크 노드 플랫폼 운영체제 기술 동향, ETRI, 2006.2
- [3] 농어촌 u-IT 활용 서비스의 국내 개발동향 분석, 전자정보센터, 2007
- [4] Chen Xijun, Max Q.-H. Meng, and Ren Hongliang, "Design of Sensor Node Platform for Wireless Biomedical Sensor Networks", IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference Institute of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 27, No -, pp. 4662-4665, 2005.
- [5] Jason Hill, "System Architecture for Wireless Sensor Networks," Doctors Thesis for Computer Science at the University California, Berkeley, Spring 2003.
- [6] 경완영, 이현창, 권정열, 유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 센서&센서인터페이스, 청안당, 2005.
- [7] Crossbow Technology, Mica2 datasheet, 2003.
- [8] Crossbow Technology, Mica2 datasheet, 2004..
- [9] Moteiv, Telos datasheet, 2004.
- [10] Intel, Imote datasheet 2005
- [11] Radiopulse, <http://www.radiopulse.co.kr>
- [12] Texas Instruments, MSP430x16x Datasheet, 2006
- [13] Texas Instruments, CC2420 Datasheet, 2007
- [14] Atmel, ATmega128 Data Sheet

저 자 소 개

강 문 호



2004년 대구대학교 통신공학과 학사.  
2007년 대구대학교 정보통신공학과 석사.  
현재, 유비쿼터스 신기술 연구센터 연구원.  
관심분야: 임베디드 하드웨어, RFID 시스템.

Email: mhkang@utrc.re.kr

김 태 화



1999년 동의대학교 컴퓨터공학과 학사.  
2005년 경상대학교 전자공학과 석사.  
현재, 유비쿼터스 신기술 연구센터 선임연구원.  
관심분야: 임베디드 하드웨어, 신호처리.

Email: thkim@utrc.re.kr

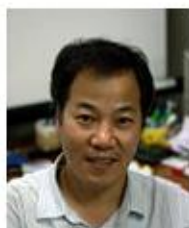
최 병 재



1987년 경북대학교 전자공학과 학사.  
1989년 KAIST 전기및전자공학과 석사.  
1998년 KAIST 전기및전자공학과 박사.  
현재, 대구대학교 전자공학부 교수.

관심분야: 지능제어, 지능로봇, 임베디드시스템  
Email: bjchoi@daegu.ac.kr

김 희 철



1983년 연세대학교 전자공학과 학사.  
1990년 USC 컴퓨터공학과 석사.  
1995년 USC 컴퓨터공학과 박사.  
현재, 대구대학교 정보통신공학부 부교수.

관심분야: 센서 미들웨어, 운영체제, 무선 센서 네트워크  
Email: hckim@daegu.ac.kr