

---

# 산란계의 체온 감시를 위한 이식형 소형 센서 노드

김현중\* · 양현호\*\*

Implantable Sensor Node for Temperature Monitoring of Laying Hens

Hyun-joong Kim\* · Hyun-ho Yang\*\*

---

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임  
(KRF-2008 -313-D00889)

---

## 요 약

최근 최첨단 IT 기술을 선도하는 USN은 사회 전반에 걸쳐 활용되고 있다. u-City, u-Home, u-Education, u-Farming 과 같은 다양한 USN 응용 서비스가 진행되고 있으며 도시를 지나 농촌에서도 유비쿼터스 기술이 ‘제 2의 농업 혁명’을 불러 오고 있다. 유비쿼터스 농업은 가축이나, 농작물 등의 생산 단계에서 USN 기술을 적용해 기온, 습도, 조도와 같은 생육 환경을 최적으로 조성하여 생산성과 안전성을 높이는데 있으며 기존 농업 환경에 많은 변화를 줄 수 있다. 본 논문에서 제안하는 이식형 소형 센서 노드는 센서 네트워크용 SoC(System-on-Chip)을 이용하여 설계하였으며 닭의 흉부에 이식하여 몸체의 체온을 직접적으로 모니터링 할 수 있도록 하였다. 또한 이를 이용한 여러 활용 방안 및 추가적인 고려사항에 대하여 논하였다.

## ABSTRACT

Recently, USN technology has been spreaded to all areas of application systems. In addition to urban application systems such as u-City, u-Home and u-Education, u-Farming(ubiquitous farming) technology supports agricultural innovations in the farm. In the u-farming environment for livestock or plant production, key environmental factors i.e. temperature, humidity and luminosity are to be set optimally to increase productivity and safety by applying USN technology. This approach could change agricultural environment. In this paper, we proposed an implantable micro sensor node to be implanted into laying hen to monitor deep body temperature. This sensor node uses SoC(System-on-Chip) designed for USN. In addition to that, we discussed about further considerations on the practical use of proposed sensor node.

## 키워드

센서 네트워크, u-농업, 산란계, 이식형 센서노드, SoC

## Key Word

USN, u-Farming, Laying Hens, Implantable Sensor Node, SoC

---

\* 군산대학교 정보통신공학과

\*\* 군산대학교 정보통신공학과 (교신저자, hhyang@kunsan.ac.kr)

접수일자 : 2010. 05. 20

심사완료일자 : 2010. 06. 02

## I. 서 론

최근 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술이 다양한 응용 분야에 이용되고 있다. 우리나라는 U-Korea 실현을 위한 초석으로 USN을 주요 3대 인프라 중의 하나로 정하고 u-City, u-Home, u-Education 등, USN기반의 u-Life 환경 구축을 위한 여러 정책과 관련 연구들을 진행하고 있다.

도시뿐만 아니라 농촌에서도 첨단 IT 기술이 접목되며 유비쿼터스 농업(u-Farming)이 ‘제2의 농업혁명’을 불러 오고 있다[1]. u-Farming은 식량작물, 화훼작물, 축산물 등의 생산단계에서 USN 기술을 적용해 생산성을 높이면서 유통, 소비 등을 체계적으로 관리해 안전성을 검증하고 투명화 하는 것을 목적으로 한다.

예를 들어, 이스라엘은 토마토 생산에 USN 기술을 적용한 무선 식물 성장 모니터링 시스템을 운영하고 있다. 식물이 수분 부족일 경우 스트레스로 잎의 두께가 얇아진다는 원리에 따라 잎에 무선 센서를 장착하고 두께를 측정해 이를 물 공급 조절장치와 연결하여 최적의 수분공급을 하는 시스템이다. 또한 양돈, 양계 등 가축의 사육에서도 효과적으로 사용된다. 양계의 경우 사육단계에서 USN 기술을 개체의 사양 관리와 계사 환경 관리의 모니터링에 적용하여 개체에 이상 징후가 발생했을 시에 효과적으로 조치를 취할 수 있게 된다.

우리나라는 현재 약 1억 2천만 수 정도의 닭이 사육되고 있으며 이중 약 45%에 해당하는 5천7백만 수 가량이 산란계이다[2]. 산란계는 7주령 정도부터 출하되는 육계에 비하여 60~80주령까지 산란을 하므로 비교적 장기간의 사양관리가 필요하다. 특히 우리나라는 여름철에 고온다습한 날씨가 계속되어 질병에 의한 폐사나, 고온 스트레스로 인한 계란의 품질 저하 등을 가져올 수 있어 닭의 이상 징후를 즉각적으로 대처할 수 있는 시스템이 요구된다[3].

이제까지 온도 변화에 따른 가축의 사육환경 제어는 축사 내외부의 기온을 기준으로 한 제어 논리를 개발하고 적용하여 왔으나 닭의 경우 체표가 깃털로 덮여 있어 외부에서 체온을 측정하는 것은 적절하지 않으며 체온을 직접 감시하여 이를 모니터링 하는 방식이 필요하다.

이에 본 논문에서는 산란계의 몸체에 이식하여 체온을 실시간으로 측정하고 호스트 PC로 전송할 수 있는 이식형 무선 센서 노드의 설계를 제안한다. 이를 위해 프로세서, RF 모듈, 센서, 메모리 등을 하나의 칩으로 통합한 SoC(System on Chip)를 이용하여 소형 센서 노드를 설계하였으며 운영체제로 TinyOS를 탑재하여 센서 노드의 온도 센서 제어 및 무선 통신을 가능하게 하였다. 2장에서는 관련 연구로써 SoC 기술 동향과 소형 센서 노드 개발 사례 및 가축을 위한 USN 응용 사례에 대해 기술하고 3장에서는 제안하는 센서 노드의 설계 과정 및 실험에 대해 기술하였다. 4장에서는 실험에 대한 결과 고찰을 하였으며, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 제시하였다.

## II. 관련 연구

### 2.1 소형 센서 노드를 위한 SoC 기술 동향

센서 네트워크를 위한 SoC는 통신 프로토콜로 2.4GHz 대역, IEEE802.15.4의 PHY/MAC을 기반으로 하여 상위 계층을 규정하는 ZigBee가 표준으로 자리 잡으며 개화되었다. 개발 동향을 살펴보면 국외에서는 TI, Jennic, Ember, Freescale, Nordic 등이 있으며 국내에는 레디오펠스, 전자부품연구원, 삼성전기 등에서 저가, 저전력의 SoC 솔루션을 개발하고 있다.

대표적으로 Jennic의 JN5121은 가장 먼저 발표된 ZigBee 지원 SoC 제품으로 타사의 8Bit MCU를 탑재하고 있는 것과 달리 자사의 고유한 32Bit RISC 프로세서를 채택하여 월등히 뛰어난 성능을 보이고 있다. 노르웨이의 칩콘은 센서 네트워크에서 가장 널리 사용되는 CC2420 RF 칩 기반의 8Bit 8051 MCU를 포함한 SoC인 CC2430을 제공하고 있다. 현재는 미국의 TI에 합병되어 CC2430에 Location Engine 기능을 가진 CC2431 및 2510, 2530 시리즈 등, 다양한 제품군을 발표하며 센서 네트워크 반도체 시장에서 자리를 굳히고 있다. 국내에서는 레디오펠스가 독자 개발한 8Bit 8051 MCU 코어 기반의 SoC 솔루션인 MG2400 칩셋을 제공하고 있다.

2.2 소형 센서 노드 개발 사례

일반적으로 SoC와같이 원칩화가 이뤄지면 보드의 사용 면적이 줄어들어 시스템의 소형화 설계뿐만 아니라 전력 소모 절감도 기대할 수 있다. 또한 소형화 설계에 따라 이식형이나, 웨어러블 컴퓨팅 등 다양하게 활용될 수 있기 때문에 SoC를 이용한 소형 무선 센서 노드의 연구가 국내외로 활발히 진행되고 있다[4]. 예를 들어 그림 1은 한국 과학기술연구원에서 지원하고 이탈리아의 CRIM Lab에서 개발한 소형 센서 노드를 보이고 있다. 이 센서 노드는 26×14mm2 크기의 소형으로 돼지의 장내에 이식한 후 ZigBee의 체내 송신 전력 및 전파 특성 등을 파악하고 이를 활용할 목적으로 개발되었다 [5]. 표 1은 기타 국내외에서 연구된 소형 센서 노드를 비교하였다.

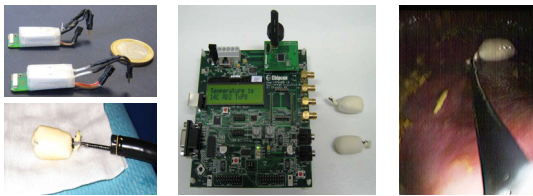


그림 1. CRIM Lab의 이식형 센서 노드  
Fig. 1 Implantable Sensor Node of CRIM Lab

표 1. SoC를 이용한 소형 센서 노드 연구 사례  
Table. 1 Examples of SoC based Sensor Nodes

센서 노드	개발업체	SoC	크기(mm)	센서
	GIST[6]	TI CC2430	31×17×3	온도 조도
	Luzern Univ[7]	TI CC2431	31×14×3	온도 위치
	UC Irvine[8]	NORDIC nRF24E1	12×12×5	가속도

2.3 가속을 위한 USN 응용 사례

가축을 위한 USN 기술은 생산 단계에서 기온, 습도 등을 조절하여 최적의 사육 환경을 제공하기 위한 축사 관리 모니터링 시스템 등에 응용 된다.

그림 2는 2009년 경상남도와 부경양돈농협을 중심으로 실시된 u-양돈 성장관리 시스템을 나타낸 것으로, USN, CCTV를 활용하여 돼지축사의 온/습도, 이산화탄소, 산소농도 등의 측정 및 돈사 상황을 모니터링 하고, 환풍기 제어 등을 통해 최적의 돈사 환경을 조성하는데 목적을 두고 있다[9].



그림 2. u-양돈 사양관리 시스템  
Fig. 2 u-Swiny raising management system

또한 한림대학교에서는 그림 3과 같이 USN 기술을 이용하여 소의 발정 주기를 파악하고 임신 성공률을 높일 수 있도록 암소 발정감지 시스템을 구축하였다. 암소는 발정기시에 활동량이 일반적으로 평소보다 4배 이상 늘어나며 이를 센서 노드의 가속도 센서로 파악하고 데이터를 서버로 전송하여 암소의 발정 유무를 파악하는 시스템이다[10].

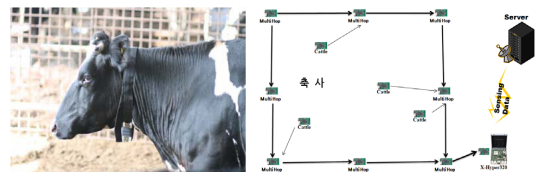


그림 3. USN을 이용한 암소 발정 감지 시스템  
Fig 3. Detection system of standing estrus in cattle using USN

### III. 설계 및 실험

#### 3.1 설계 목표

본 논문에서는 산란계의 흉부에 이식하여 직접적으로 체온을 측정할 수 있는 소형의 무선 센서 노드 설계를 목표로 하며 설계의 주요 요구조건은 다음과 같다.

(1) 산란계의 몸체에 이식하기 위해서는 센서 노드의 크기가 매우 작아야 하며 이를 위해서는 설계에 필요한 소자들의 크기가 소형이어야 하고, 필요 이상의 부품을 줄여야 한다. 이를 위해 MCU와 RF 모듈, 센서 등을 원칩화한 SoC와 기타 소자들은 표면실장소자(SMD : Surface Mounted Device)를 사용하였다.

(2) 전력을 공급하는 배터리의 경우, 크기에 따라 용량이 비례하기 때문에 소형의 배터리를 장착하고 센서 노드를 운영하기 위해서는 저전력 설계여야 한다. 센서 노드는 온도 값의 송수신 활동이 필요한 경우에만 동작하고 나머지 시간에는 Sleep 모드로 전환되어 전력소모를 극소화 할 수 있도록 하였다.

(3) USN 환경을 위한 무선 통신 프로토콜로는 2.4GHz ISM 대역의 IEEE 802.15.4를 사용하며, 센서 노드의 운영체제로는 TinyOS를 탑재하여 네트워크 형성, 체온 측정 및 송수신, 그리고 기타 응용을 할 수 있도록 한다.

#### 3.2 회로 설계

본 논문에서 설계된 소형 무선 센서 노드는 범용으로 사용되는 IEEE 802.15.4/ZigBee 지원 SoC인 TI사의 CC2430을 사용하였다[11]. CC2430은 기존의 CC2420기반에 8Bit 저전력의 8051 MCU 코어, 8KB RAM, Flash 메모리(32/64/128KB), 온도센서를 단일 칩으로 제공하여 설계에 있어서 최적의 환경을 제공하였다.

센서 노드 설계에 필요한 회로도, PCB, 소자의 용량은, TI에서 제공하는 CC2430EM 레퍼런스 디자인 노트를[13] 참고하였으며, 작성 툴로는 Altium 디자이너를 이용하였다. 작성된 회로도와 PCB 설계도는 그림 4와 같다.

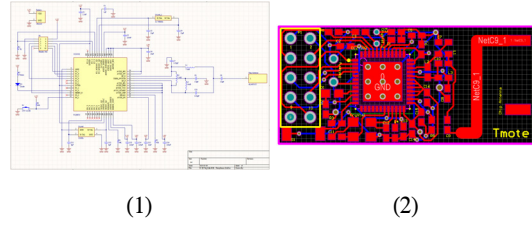


그림 4. 회로도 및 PCB 설계  
(1) 회로도 (2) PCB 설계  
Fig 4. Schematic and PCB design  
(1)Schematic (2) PCB Design

그림 5의 (1)은 구현된 센서 노드를 나타낸 것으로 33×14mm 크기에 클록 공급을 위한 32.768KHz, 32MHz 크리스털과 디버깅 확인을 위한 LED가 탑재되어 있다. (2)는 전원 공급을 위한 배터리(CR14250SE, 3V, 850mAh, Sanyo, Japan) 장착 후의 모습이다.

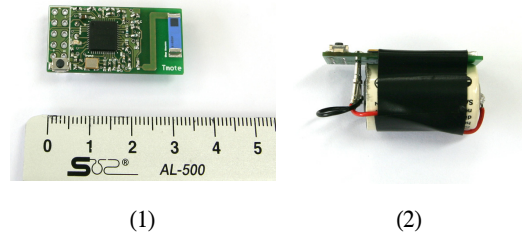


그림 5. 설계된 소형 센서 노드  
(1) 설계된 센서 노드 (2) 배터리 장착  
Fig 5. Implemented miniaturize Sensor Node  
(1) Sensor Node (2) Equip a battery

#### 3.3 동작 실험

설계된 센서 노드를 구동하기위한 운영체제로 Tiny OS를 탑재하였다. 응용프로그램은 NesC로 작성되었으며 CC2430의 온도 센서 제어를 위한 ADC 컴포넌트와 RF 통신 컴포넌트를 연결하여 최종적으로 지정된 주기마다 측정된 온도를 싱크 노드로 전송하도록 하였다. 주요 프로그래밍 소스는 다음과 같다.

(1) RF 통신: 센서 노드가 부팅되면 통신 채널을 설정하고 RF 통신을 시작한다.

```

event void Boot.booted() {
    channel=11;
    call SimpleMac.setChannel(channel);
    call SimpleMacControl.start();
}
    
```

(2) 온도 센서 제어 : 타이머가 10초 주기로 발생되며 이때, `getData()` 함수를 호출하게 되고 온도 측정을 위한 CC2430의 레지스터 제어 설정이 이뤄지게 된다.

```

event void Boot.booted() {
    call HTimer.startPeriodic(10000);
}
event void HTimer.fired() {
    call Temp.getData();
}
    
```

센서 노드로부터 송신된 온도 값을 수집하고 호스트 PC로 전송하는 싱크 노드는 그림 6의 (1)과 같이 하이버스사의 Hmote2430mini를 사용하였다. 그림 6의 (2)에 나타난 디버그 보드와 결합되며 RS-232 인터페이스를 이용하여 PC와 통신하게 된다.

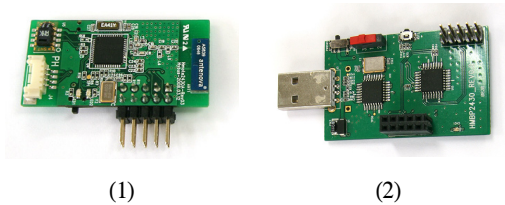


그림 6. 싱크 노드  
 (1) Hmote2430mini (2) 디버깅 보드  
 Fig 6. Sink Node  
 (1) Hmote2430mini (2) Debugging board

싱크 노드의 데이터 수신 및 UART 출력 소스는 다음과 같으며 센서 노드로부터 수집된 데이터는 `StdOut` 함수에 의해 UART로 출력을 하게 된다.

```

event packet_t * SimpleMac.receivedPacket(packet_t
*packet){
    uint16_t temp;
    temp=((packet->data[1]<<8)+packet->data[2]);

    call StdOut.print("Temp : ");
    call StdOut.printBase10uint16(temp);
}
    
```

CC2430의 내부 온도 센서는 온도에 따라 변화되는 출력 전압을 내부 ADC(Analog to Digital Converter)를 이용하여 수치로 변환 한 후 출력한다. CC2430은 0°C일 때 743mV의 출력 전압을 보이며 실제 온도 값은 식(1)에 의해 구할 수 있다.

$$T = \frac{(Output\ Voltage[mV] * Constant) - (743[mV/0^{\circ}C] + Offset)}{TempCoefficient[V/^{\circ}C]} \quad (1)$$

설계된 센서 노드의 정확한 온도 측정 실험을 위하여 그림 7과 같이 센서 노드를 라텍스로 포장한 후 저온 순환 수조(Refrigerating Bath Circulator, JEIO TECH, Korea)에 1cm 깊이에 넣고 35°C~40°C까지 1시간 간격으로 1°C씩 변화 시키며 측정하였다.

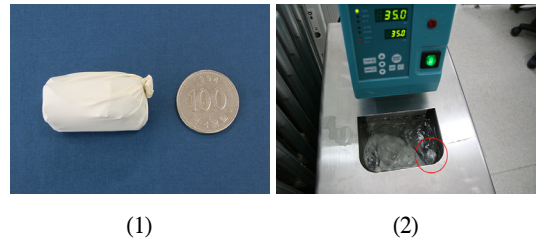


그림 7. 온도 측정 실험  
 (1) 라텍스 포장 (2) 저온순환수조 실험  
 Fig. 7 Temperature test experiment setup  
 (1) Packaging Latex (2) Experiment

통신 프로그램은 윈도우에서 기본적으로 제공하는 하이퍼터미널을 이용하였다. 패킷 수신 화면은 그림 8과 같다. 측정된 온도값, 센서 노드의 ID, RSSI 및 LQI와 같은 정보가 표시되는 것을 알 수 있다.

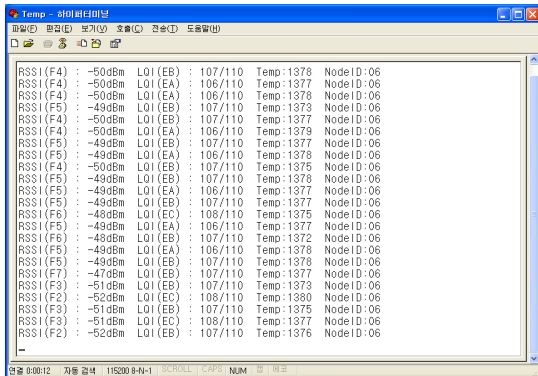


그림 8. 하이퍼터미널 수신 화면  
Fig 8. View of received data

#### IV. 결과 고찰

그림 9는 3.3절의 실험결과를 나타낸 그래프로 1°C당 800개의 샘플을 수집하여 평균치를 구하였다.

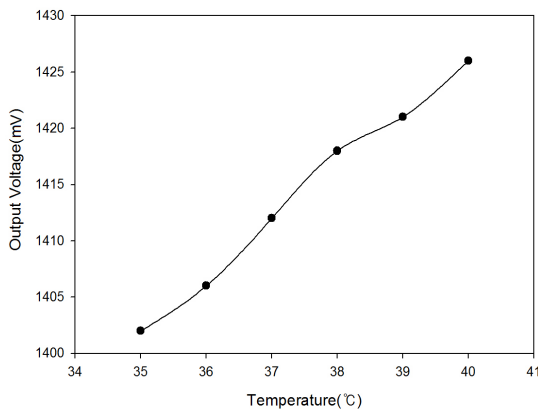


그림 9. 온도변화에 따른 측정값  
Fig. 9. Measured Value at Temperature Change

전체적으로는 35~40°C까지 온도 변화에 따라 출력전압이 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 측정된 샘플들에서 편차가 보이며 이는 CC2430의 내부 온도 센서의 특성으로 보인다. 따라서 실제 환경에서 산란계의 체온 측정을 위해서는 이러한 오차를 줄이는 방안이 추가적으로 고려되어야 할 것이다.

#### V. 결론

본 논문에서는 대표적인 센서 네트워크용 SoC인 CC2430을 이용하여 산란계의 체온 감시를 위한 이식형 소형 센서 노드를 설계 하였다.

닭의 체내는 근육과 지방, 수분들과 같이 통신을 방해 하는 수많은 매질로 구성되어 있기 때문에 자유 공간의 전파 특성과 달리 신호가 감쇄되어 닭의 크기, 체중, 움직임에 따라서도 신호가 변화할 수 있다. 이에 비슷한 환경인 수조에서의 실험 결과로 온도 변화에 따른 출력 전압의 증가를 확인할 수 있었으나 내부 온도 센서의 특성에 따른 오차가 포함되어 실제 닭의 몸체에 이식하기 위해서는 보다 성능이 좋은 외부 온도센서를 장착하고 데이터의 보정이나 체내의 전파 특성에 맞는 내부 안테나 설계가 필요하다. 또한 측정된 데이터를 활용하여 닭의 체온 변화에 따른 환기, 조명, 난방 등의 조치를 취할 수 있는 응용 시스템에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [ 1 ] 매일신문, “제2의 농업혁명 이끌 U-Farming(유비쿼터스 농업)”, 2006
- [ 2 ] <http://www.mifaff.go.kr/main.jsp>, 농림부 축산 통계, 2008. 3
- [ 3 ] <http://livestock.nonghyup.com/common/skl/chicken/brd003.jsp>, 축산 사이버 컨설팅, “산란계의 사양 및 영양관리”
- [ 4 ] Ben W. Cook, Steven Lanzisera, Kristofer S. J. Pister, “SoC Issues for RF Smart Dust”, Proceedings of The IEEE, vol. 94, pp. 1177-1196, 2006.
- [ 5 ] Valdastrì. P, Menciassi. A, “Transmission Power Requirements for Novel ZigBee Implants in the Gastrointestinal Tract”, IEEE Trans. vol. 55, pp. 1705-1710, 2008.
- [ 6 ] Kyung Jun Choi, Jong In Song, “A Miniaturized Mote for Wireless Sensor Networks” Advanced Communication Technology(ICAICT. 08), vol. 1, pp. 514-516, 2008.

- [ 7 ] Klapproth. A, Bissing. S, Venetz. M, "Design of a versatile lowcost IEEE802.15.4 module for long term battery operation", 1st EuZDC, 2007
- [ 8 ] Chulsung Park, Chou. P.H, "Eco: ultra-wearable and expandable wireless sensor platform", BSN 2006, pp. -165, 2006.
- [ 9 ] 부경양돈농협, "부경양돈 21", 통권 제 115호, 2009.
- [10] 서정택 외 4명, "USN을 이용한 암소 발정감지 시스템" 한국정보과학회, 제36권, 제2호, pp. 181-186, 2009.
- [11] <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc2430.html>
- [12] [http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/cc2430em\\_refdes.html](http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/cc2430em_refdes.html)

저자소개



**김현중(Hyun-Joong KIM)**

2009년 군산대학교  
전자정보공학부(공학사)  
2009년 ~ 현재 군산대학교  
정보통신공과  
(공학석사과정)

※ 관심분야: 무선 센서 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅



**양현호(Hyun-ho Yang)**

1986년 광운대학교 전자공학과  
(공학사)  
1990년 광운대학교 대학원  
전자공학과 (공학석사)

2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)  
1989년 ~ 1990년 삼성 SDS 주식회사  
1991년 ~ 1997년 포스데이타 주식회사  
1997년 ~ 2005년 순천청암대학  
2005년 ~ 현재 군산대학교 정보통신공학과  
※ 관심분야: 무선 데이터통신, Ad Hoc 네트워크, 무선  
센서망