

---

# 긴급 메시지의 우선 처리를 위한 무선센서네트워크 MAC 프로토콜 설계

이주현\* · 박형근\*\*

Design of a MAC protocol for Urgent Events in Wireless Sensor Networks

Juhyeon Lee\* · Hyung-Kun Park\*\*

## 요 약

반도체 검사장비 환경과 같이 실시한 환경 모니터링을 위한 무선 센서 네트워크가 많은 분야에서 응용되고 있다. 그러나 일반적인 센서네트워크와는 달리 모니터링 시스템의 경우 긴급한 처리가 필요한 데이터가 발생하게 되는데, 이때 긴급 데이터는 다른 일반적인 모니터링 데이터에 비해 우선적으로 관리서버에 전송되어야 한다. 반면 일반적으로 센서 네트워크에서 사용되는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜에서는 이러한 긴급 데이터 처리를 위한 알고리즘을 제공하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 데이터의 우선순위 및 긴급 데이터 전송을 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다.

## ABSTRACT

Wireless Sensor Networks are widely applied for organizing real-time monitoring systems. Unlike general kinds of sensor networks, it is important to preferential send emergency data to the control server when urgent events are occurred. But IEEE 802.15.4 MAC protocol which is generally deployed for wireless sensor network does not support algorithm for urgency data handling. Therefore, we proposed a MAC protocol which consider the priority for the urgency data handling.

## 키워드

MAC 프로토콜, 모니터링 시스템, 지그비, 센서 네트워크

## Key word

MAC Protocol, Monitoring system, Zigbee, Sensor Network

---

\* 한국기술교육대학교 전기전자공학과 박사과정

접수일자 : 2009. 12. 29

\*\* 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수 (교신저자)

심사완료일자 : 2010. 01. 25

## I. 서 론

무선 센서 네트워크를 이용한 실시간 모니터링 시스템이 반도체 검사 장비 등과 같은 다양한 환경에서 응용되고 있다. 특히 이러한 환경 모니터링 시스템의 경우 일반적인 센서 네트워크와는 달리 화재 및 여러 가지 이상 현상과 같은 서버측에서의 긴급한 조치를 필요로 하는 상황이 발생 시 이를 일반적인 모니터링 데이터보다 우선적으로 전송 할 필요가 있다.

일반적으로 QoS 조건이 있는 중요한 데이터의 채널 할당을 위해 TDMA 기반 MAC 프로토콜과 같이 전용 채널을 예약하여 할당하는 방법이 있다. 하지만 이러한 방식의 경우 데이터 전송 시 채널이 할당되기까지의 대기 시간이 발생하므로 긴급 데이터를 즉시 전송하는 데엔 적절하지 않다.

한편 일반적으로 센서 네트워크에서 많이 사용되는 S-MAC, B-MAC 및 IEEE 802.15.4 MAC과 같은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 경쟁 기반 MAC 프로토콜에서는 이러한 긴급 데이터 처리를 위한 알고리즘을 제공하지 않는다[1].

따라서 본 논문에서는 데이터의 우선순위 및 긴급 데이터 전송을 위한 MAC 프로토콜을 제안하고자 한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 기존의 CSMA/CA Backoff 알고리즘을 응용하여 우선순위가 높은 긴급데이터가 발생할 경우 Backoff Contention 구간을 조정함으로써 같은 시간에 발생한 일반적인 모니터링 데이터에 비해 더 빠른 시간에 전송하도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 본 연구에서 고려한 IEEE 802.15.4 표준 및 MAC 프로토콜에 대해 설명한 후 III장에서 긴급 데이터 우선 처리를 위한 Backoff 알고리즘을 소개하고 이에 대한 실제 구현 및 시뮬레이션 결과를 IV장에서 논의한 다음 V장에서 본 논문에 대한 결론을 내리도록 한다.

## II. IEEE 802.15.4 MAC 계층 구조

본 논문에서는 무선 모니터링 시스템을 위해 IEEE 802.15.4 표준을 고려하였다. IEEE 802.15.4 표준은 저비용, 저전력으로 무선통신을 구현하는 데에 초점이 맞춰

져있다. 블루투스나 무선랜과 대조적으로, IEEE 802.15.4의 네트워크에 소속된 디바이스들은 빈번한 통신을 목적으로 하지 않으면서, 적은 양의 데이터를 비교적 긴 시간을 두고 전송한다는 특징이 있다. 또한, 블루투스와 비슷한 특징으로, IEEE 802.15.4는 낮은 전력 레벨을 사용하면서, 패킷 심볼 전송 비율을 매우(최대 62.5 Ksymbols/s) 낮추어, 산업 공장에서 발생할 수 있는 지연 시간에 대처할 수 있도록 되어 있다.

이러한 IEEE 802.15.4를 이용한 기술로는 ZigBee가 있으며, ZigBee 기술의 최대 장점은 수십 개 이상의 노드를 단일 네트워크로 구성하여 편리한 제어 시스템을 구축할 수 있다는데 있다. 단일 네트워크에는 최대 65,000 개 이상의 노드 수용을 지원하고 있으며, 실제 현장에서는 수백 개 이상의 네트워크 노드를 신뢰성 있게 제어할 수 있다.

IEEE 802.15.4 MAC계층에서는 선택적으로 운영이 가능한 슈퍼프레임을 지원하고 있다. 슈퍼프레임에서는 PAN코디네이터라고 불리어지는 네트워크 코디네이터가 BI(Beacon Interval) 구간마다 슈퍼프레임 비컨을 송신한다.

슈퍼프레임에는 BI를 IEEE 802.15.4노드의 활성구간(active)과 비활성구간(inactive)으로 나뉘고, 활성구간인 SD(Supreframe Duration)에는 CAP와 CFP로 다시 나누어진다. CAP(Contention Access Period)구간은 네트워크 기기가 CSMA/CA기반으로 경쟁하며 패킷을 송신하는 부분으로 대부분의 네트워크기기간의 통신은 이 부분에서 일어난다. 반면 CFP(Contention free period)구간은 예약된 특정기기간 접근이 가능하므로 경쟁 없이 패킷을 송신하는 구간이다. CFP구간에서 대부분의 기기는 송신이 없이 수신만 가능하며 코디네이터에 의해 CFP구간이 예약된 기기만이 송신이 가능하다.

대부분의 네트워크기기는 아래 그림 1에서 CAP를 제외하고 네트워크의 전송을 할 수 없다. 단 모든 기기는 코디네이터로부터 비컨을 수신하고 활성시간인 SD구간 동안 수신기(receiver)를 켜두어야하며, CAP구간동안 자신이 가지고 있는 데이터를 전송한다. 그리고 비활성 시간에는 송수신기를 끄고 대기에 들어가 에너지 소비를 최소화 한다. 이는 센서네트워크의 각 노드의 소비전력을 줄임으로써 네트워크 수명을 향상시킬 수 있다 [2][3].

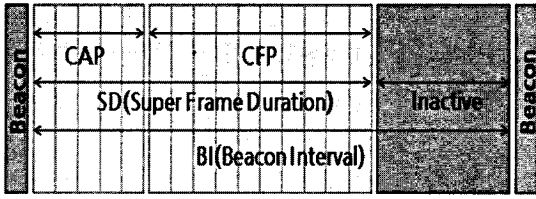


그림 1. IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조  
Fig. 1 IEEE 802.15.4 Superframe Structure

IEEE 802.15.4에서는 MAC 프로토콜로 CSMA/CA 방식을 사용한다. 이때 실시간 데이터 전송이 필요한 경우 선택적으로 GTS 할당 방식을 적용한다. CSMA/CA 방식은 슬롯의 사용 여부에 따라 두가지로 나뉘는데, 비컨가능 네트워크에서는 “슬롯기반(slotted) CSMA/CA”, 비컨불능 네트워크에서는 “슬롯없는(unslotted) CSMA/CA” 방식을 사용한다. 슬롯기반 CSMA/CA는 백오프 슬롯(backoff slot)을 비컨 전송과 동시에 할당 받는 방식으로, 데이터를 전송하기 전에 기기는 백오프 슬롯을 기반으로 하는 임의의 시간구간 만큼 대기하며, 채널이 사용중일 때 기기는 임의 횟수의 백오프 슬롯을 기다리는 방식이다.

### III. 긴급 데이터 처리 알고리즘

하나의 서버와 여러 대의 클라이언트로 구성된 모니터링 시스템에서 긴급 데이터 발생 시 우선 처리 알고리즘을 제시하고자 한다.

#### 3.1 시스템 구성

그림 2와 같이 하나의 서버와 여러 대의 노드로 이루어진 모니터링 및 제어 시스템의 경우, 클라이언트에서 주기적으로 상태 정보를 서버로 전송한다. 각각의 노드에는 긴급 데이터와 모니터링 데이터를 처리하는 두 종류의 큐가 있다. 이때 노드에서 서버에서의 긴급 처리가 필요한 이벤트가 발생하게 되면, 클라이언트에서는 기존의 모니터링 정보가 아닌 긴급 데이터를 먼저 송신하여 서버에서 빠르게 대처하도록 처리할 필요가 있다.

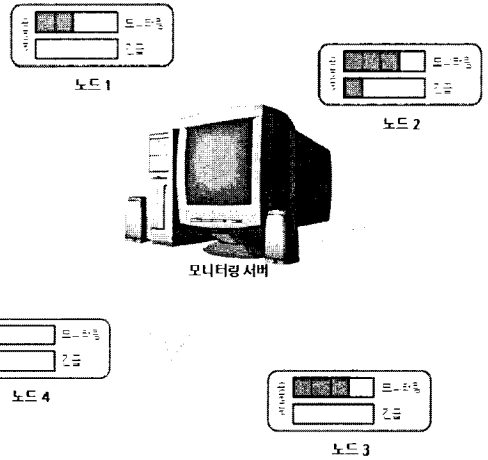


그림 2. 모니터링 및 제어 시스템  
Fig. 2 Monitoring and Control System

#### 3.2 긴급 데이터 처리 Backoff 알고리즘

만약 두 노드가 거의 동시에 데이터 전송을 시작할 경우에는 전송 패킷 간에 충돌이 발생할 수도 있다. 이러한 문제를 줄이기 위해, Zigbee MAC 프로토콜에서는 랜덤 Backoff 기법을 사용한다. Backoff 기법이란 데이터 전송을 시작하기 전에, 다른 노드와 동시에 전송하는 문제를 방지하기 위한 기법이다. 데이터를 전송하기 전에  $[0, N]$  숫자 중 랜덤하게 하나의 시간을 선택한 후, 그 시간만큼 기다림으로써 충돌의 확률을 조절하는 것이다. 여기서  $N$  값이 너무 큰 경우에는 데이터를 전송하기 전에 평균적으로 긴 시간을 기다려야 하므로 전송 지연 문제가 발생하고, 너무 작은 값을 설정할 경우에는 패킷의 충돌 확률이 높아진다. 따라서 충돌을 줄이면서 효율적으로 전송하기 위해서는  $N$  값의 적절한 설정이 중요하다[5].

본 논문에서는 메시지의 종류에 따라  $N$  값을 조절하였다. 즉, 긴급성을 요하는 알람 메시지의 경우  $N$  값을 다른 메시지의 적은 수준으로 설정하여 큰 전송 지연 없이 다른 일반 메시지보다 우선적으로 전송될 수 있도록 하였다. 여기서 긴급메시지의 경우 처음 Backoff 구간은 최소값으로 결정하여 긴급상황이 발생할 시 신속하게 전송될 수 있도록 하였다. 하지만 Backoff 구간이 작을 경우 상대적으로 충돌 확률은 늘어나므로 첫 번째 전송에서 충돌므로 첫 두 번째 전송 첫도부터는 Backoff 구간을 늘려 충돌 확률이 줄어들 수 있도록 하였다. 제안하는 알고리즘은 그림 3과 같다.

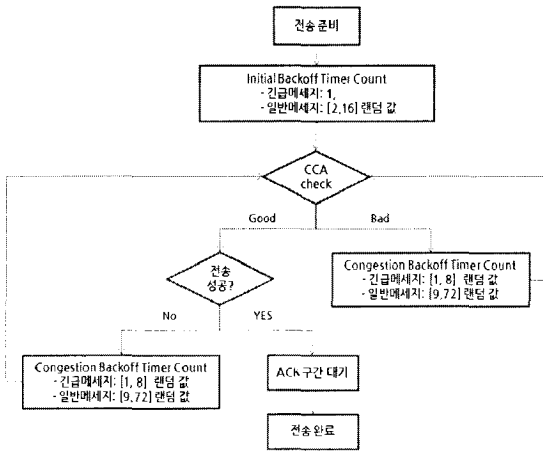


그림 3. 긴급 데이터 처리 Backoff 알고리즘  
Fig. 3 Backoff algorithm for urgency data support

#### IV. 구현 및 시뮬레이션

제안한 Backoff 알고리즘의 성능평가를 위해 TinyOS 1.0x 기반의 Zigbee 노드에 NesC로 구현한 후 실험 및 비슷한 환경을 가정한 시뮬레이션을 통해 성능을 확인했다[5]. 실험을 위해 일반메시지를 생성하는 노드 4개에 긴급메시지를 생성하는 노드를 0~3까지 증가시키며 각각의 충돌 확률 및 평균 패킷 도착시간을 확인하였다. 이때 클라이언트에서 서버까지의 거리는 평균 2m로 고정시켰으며, 21byte의 데이터를 200ms 간격으로 주기적으로 생성하였다. 첫 패킷 전송 시 각 노드의 데이터는 모두 동시에 전송된다.

위와 같은 실험환경에서 20초 동안 100개의 패킷을 송신하여 도착한 패킷의 개수로 충돌 확률을 계산한 후 그림 4와 같이 그래프로 나타내었다. 비교를 위해 똑같은 환경에서 시뮬레이션으로 테스트한 결과를 그림 5에 같이 나타내었다. 여기서 충돌확률은 전송한 패킷 수에 대한 도착하지 않은 패킷 수의 비율을 백분위로 나타내었다. 두 그래프를 비교해 볼 때 전반적으로 비슷한 결과를 보이지만 긴급 데이터 발생 노드개수가 3일 때는 충돌확률이 2%가량 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 시뮬레이션이 이상적인 환경에서 테스트된 것에 비해, 실제 실험 환경에서는 충돌에 기여하는 요인이 좀 더 다양하기 때문으로 추측된다. 두 가지 결과에서 확인할 수

있듯이 긴급 데이터가 발생하는 노드 개수가 증가할수록 전체 노드에서 발생하는 데이터의 충돌 확률 또한 증가하는 것을 알 수 있다.

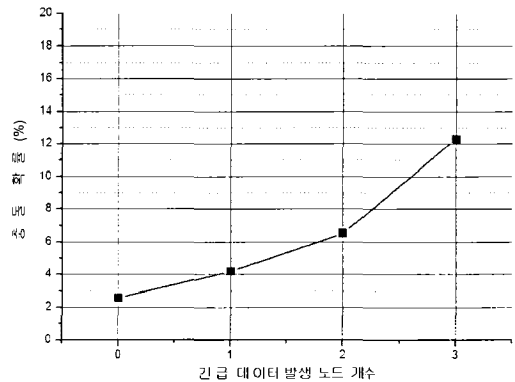


그림 4. 긴급 데이터 발생 노드의 증가에 따른 충돌 확률

Fig. 4 Collision probability with increasing number of urgency data generation nodes.

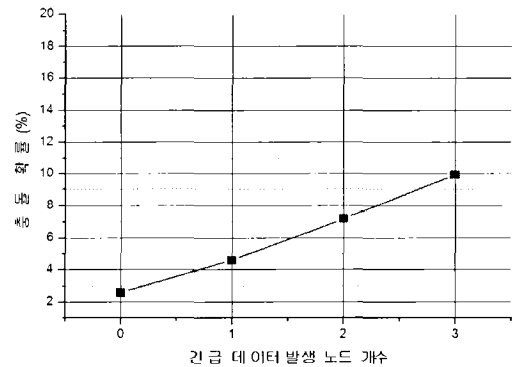


그림 5. 긴급 데이터 발생 노드의 증가에 따른 충돌 확률(시뮬레이션)

Fig. 5 Simulation result of Collision probability with increasing number of urgency data generation nodes.

그림 6 및 7에서는 긴급 데이터 발생 노드 3개와 일반 데이터 발생 노드 4개에서 데이터를 동시에 전송했을 때 수신단에 도착한 패킷의 도착 순서 및 도착 시간을 그래프로 나타낸 것이다. 여기서 실제 실험을 통해서 정확한 도착 시간을 알아내기 힘든 관계로 패킷 도착 순서로 긴급 메시지 우선 지원 여부를 나타내었으며, 시뮬레이션 결과는 도착시간으로 나타내었다. 두 그래프를 볼 때, 일

반적으로 긴급 데이터가 일반 데이터보다 빠른 시간에 수신단에 도착하는 것을 알 수 있다.

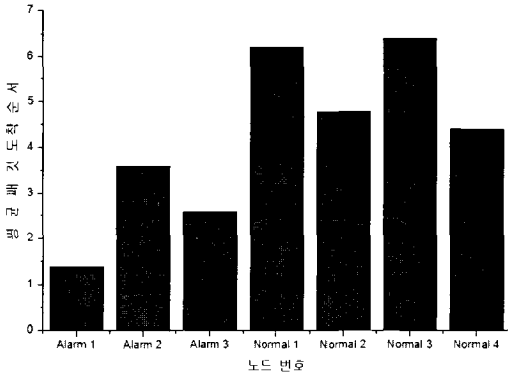


그림 6. 전송 데이터 종류에 대한 평균 패킷 도착 순서  
Fig. 6 Average arrival order for each nodes.

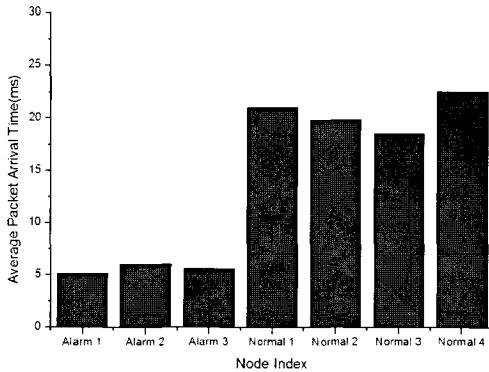


그림 7. 전송 데이터 종류에 대한 평균 패킷 도착 시간(시뮬레이션)  
Fig. 7 Average arrival time for each nodes.

Backoff 값이 랜덤값이기 때문에 실험할 때 마다 조금씩 다른 결과를 나타내기도 하지만 평균적으로 긴급 데이터가 일반데이터 보다 먼저 수신단에 도착하는 것을 실험 및 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다. 그림 8 및 9는 긴급 데이터 발생 노드의 증가에 따라 각 데이터 종류별 평균 도착순서 및 도착시간을 그래프로 나타낸 것이다. 여기서도 그림 6 및 7과 마찬가지로 평균 도착순서는 실제 실험결과, 도착시간은 시뮬레이션 테스트 결과를 반영하였다. 두 그림에서 모두에서 긴급 데이터 발생 노드 개수가 증가할수록 각 긴급 및 일반 데이터의 도착 시간이 평균적으로 조금씩 늦어지는 것

을 알 수 있다. 이는 그림 4 및 5에서 나타난 바와 같이 긴급 데이터 발생 노드수가 증가할수록 충돌확률이 커져 충돌에 의한 데이터 송신 지연이 발생하기 때문이다. 하지만 조금씩 늦어지더라도 전반적으로 일반 데이터에 비해 긴급데이터가 수신단에 먼저 도착하는 것을 확인할 수 있다.

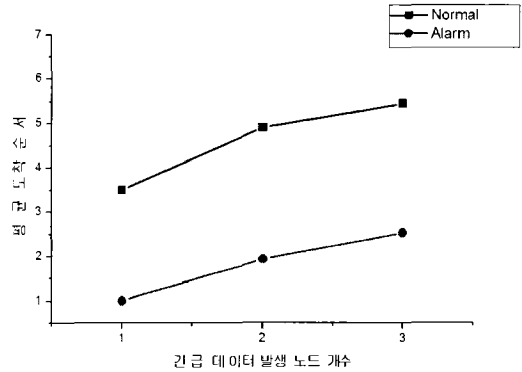


그림 8. 긴급 데이터 발생 노드의 증가에 따른 데이터 종류 별 평균 도착 순서  
Fig. 8 Average arrival order with increasing number of urgency data generation nodes.

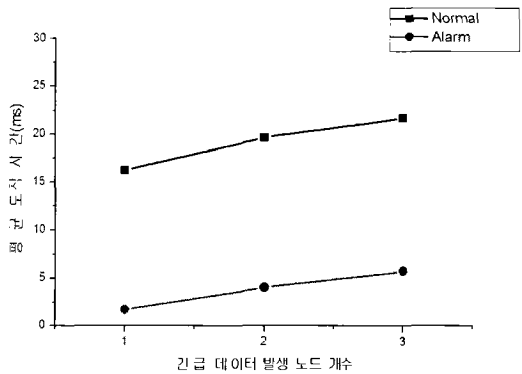


그림 9. 긴급 데이터 발생 노드의 증가에 따른 데이터 종류 별 평균 도착 시간(시뮬레이션)  
Fig. 9 Simulation result of Average arrival time with increasing number of urgency data generation nodes.

실험 및 시뮬레이션 등을 통해 긴급 데이터 발생 노드 증가에 따른 충돌 확률, 각 데이터 종류별 평균 도착 순서 및 긴급 데이터 발생 노드의 증가에 따른 평균 도착 순서 변화 등을 확인하였다.

그림 6 및 7을 통해서 평균적으로 긴급 데이터가 일반 데이터보다 먼저 수신단에 도착함으로써 긴급 데이터가 일반 데이터보다 더 우선적으로 처리됨을 확인할 수 있다. 하지만 그림 4 및 5에서 볼 수 있듯이 긴급 데이터 발생 노드수가 증가할수록 충돌에 의한 데이터 송신 지연이 많이 발생하여, 그림 8 및 9와 같이 평균 도착 순서가 조금씩 늦어지게 되지만, 지연 시간을 감안하더라도 일반 데이터에 비해 긴급데이터가 수신단에 먼저 도착하는 것을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 모니터링 시스템을 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 기존의 센서네트워크에서 사용하는 Zigbee MAC 프로토콜은 긴급하게 처리되어야 할 이벤트가 발생하는 센서 네트워크에서 긴급데이터를 따로 처리하는 알고리즘이 없기 때문에 적용하기에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 긴급 데이터에 우선순위를 주어 일반적인 모니터링 데이터보다 먼저 송신하게 함으로써 신속한 처리가 가능하도록 하는 알고리즘을 제시하였다. 이를 실제 장비에 구현하여 실험했을 때 긴급 데이터를 구분하지 않는 기존의 방식과는 달리, 제안한 알고리즘이 긴급 데이터가 발생할 경우 같은 시간에 발생한 일반데이터보다 더 빠른 시간에 수신단에 전달됨으로써 효율적인 실시간 처리를 하는 것을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

[1] Li Y.J, Chen C.S., Song Y.-Q., Wang Z. "Real-time QoS support in wireless sensor networks: a survey," *Proc. 7th IFAC Int Conf on Fieldbuses & Networks in Industrial & Embedded Systems*, pp. 373 - 380, Nov. 2007

[2] IEEE Std. 802.15.4-2003, "IEEE Standard for Information Technology-Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS)", 2003.

[3] Jaechang Shim, "IEEE 805.15 and zigbee 소개," Sep. 2006

[4] (주)한백전자 기술연구소, *유비쿼터스 센서 네트워크 시스템*, pp. 223-249, 2005.

### 저자소개

이주현(Juhyeon Lee)



2006년 2월 한국기술교육대학교  
정보기술공학부 (공학사)  
2010년 2월 한국기술교육대학교  
전기전자공학과 (공학석사)

2010년 3월~현재: 한국기술교육대학교  
전기전자공학과 박사과정  
※관심분야: 4세대 이동통신, 무선자원관리

박형근(Hyung-Kun Park)



1995년 2월 고려대학교 전자공학과  
(공학사)  
1997년 2월 고려대학교 전자공학과  
(공학석사)

2000년 8월고려대학교 전자공학과 (공학박사)  
2000년 9월 ~ 2001년 8월: University of Colorado at  
Colorado Springs, Postdoc.  
2001년 9월 ~ 2004년 2월: 현대시스콤, 선임연구원  
2004년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교  
정보기술공학부 부교수  
※관심분야: 4세대 이동통신, OFDM, 무선자원관리