

# 무인항공기의 매체접속제어 프로토콜 적용에 관한 연구

조운현\*\* · 윤인섭\* · 김상욱\* · 박효달\*

A Study on the MAC(Media Access Control) protocol for Unmanned Aerial Vehicle(UAV)

Yun-Hyun Jo\*\* · In-Seop Yoon\* · Sang-Uk Kim\* · Hyo-Dal Park\*

## 요약

본 논문에서는 점차 쓰임새가 다양해지는 무인항공기의 매체접속제어 프로토콜 적용에 관한 연구를 수행하였다. 무인항공기의 대수가 증가함에 따라 지상통제소에서 동시에 제어해야할 항공기의 대수도 증가하게 된다. 이를 위해 현재 민간항공기에서 사용하는 다중접속제어 방식인 CSMA/CA를 무인항공기 통신방식에 적용하여 메시지 크기에 따른 데이터 처리량 및 지연시간을 비교를 통하여 이의 적용 가능성을 확인하였다. 그 결과 무인항공기 매체접속제어 적용가능성을 확인해볼 수 있었다.

## ABSTRACT

In this paper, we studied on MAC(Media Access Control) protocol for UAVs application. According to the number of UAVs, ground control station should control properly increased UAVs. So, we applied CSMA/CA that used in current civil aircraft to UAV communications and verified the applicability through comparison of throughput and delays of data with various message sizes. In the results, we confirmed applicability for UAVs MAC protocol.

## 키워드

UAV, MAC, CSMA/CA

무인 항공기, 매체 접속 제어, 반송파 감지 다중 접속, 충돌 감지

## 1. 서론

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)란 일반적으로 조종사 없이 지상통제소 또는 무인항공기 스스로 비행하는 비행체를 말한다. 현재 무인항공기의 활용분야가 점점 넓어지고 있으며, 초기에는 주로 정찰, 공격 등 군사적 목적으로 많이 사용하였으며, 점차 지

형 탐사, 통신 중계, 환경 감시 등 민간 분야에서 활용하기 위한 목적으로 사용범위가 점차 늘어나고 있다.

무인항공기는 이륙 후 특정 임무를 수행한 후 복귀의 과정을 수행하며, 지상통제소에 의한 실시간 명령에 따라 획득된 정보, 위치 자세 등의 정보를 지상으로 보내게 된다.

또한 무인항공기를 운용하는 지상통제소에서는 단

\* 인하대학교 전자공학과(cyh0107@naver.com)

\* 인하대학교 전자공학과(lunamaestro@gmail.com)

\* 인하대학교 전자공학과(dangkegood@gmail.com)

\*\* 교신저자 : 인하대학교 전자공학과

· 접수일 : 2015. 12. 25

· 수정완료일 : 2016. 01. 13

· 게재확정일 : 2016. 01. 24

· Received : Dec. 25, 2015, Revised : Jan. 13, 2016, Accepted : Jan. 24, 2016

· Corresponding Author : Yun-Hyun Jo,

Dept. of Electronic Engineering, Inha University,

Email : cyh0107@naver.com

일 무인기항공기에 대한 통제뿐만 아니라 필요시 다수의 무인항공기에 대한 통제 또한 가능하여야 한다.

따라서 본 논문에서는 일반적인 무인항공기와 지상 통제소간의 무선 통신을 위한 매체접속제어 프로토콜에 대해 연구를 수행하며, 일반 항공기 등에서 주로 사용되고 있는 매체접속제어 방식인 CSMA/CA( Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)를 통해 적용가능성을 알아보고 효율성을 검증해보도록 한다.

## II. 이 론

### 2.1 데이터 링크 개요

제한된 전파자원을 다수의 항공기가 공유하여 지상국과 접속하기 위해서는 매체접속제어 프로토콜을 통한 다중접속기술이 필요하며, 이러한 다중접속 기술들은 주파수 대역을 할당하는 알고리즘 방식과 의사결정 방식, 수요 변화에 따른 적용도 등의 척도에 따라 분류할 수 있다. 그림 1은 OSI( Open System Interconnection) 참조 모델과 항공이동통신 모델의 구조를 나타낸다. OSI 참조 모델은 국제 표준화 기구(ISO)에서 정의한 국제 표준 통신규약으로서 통신의 접속에서부터 완료까지의 전체 7계층 중 하위 3계층만을 보여주는 것으로 물리계층, 데이터링크 계층, 네트워크 계층으로 나뉜다. 항공이동통신 모델에서는 2계층인 데이터링크 계층을 쉽게 구현하기 위해 다시 데이터를 전송한 경우에 두 매체 사이의 연결 유지 기능을 수행하는 LLC( Logical Link Control)와 자료 전송시 실제로 자료를 전기적 신호로 보내는 전송 매체의 제어방식인 MAC( Media Access Control)으로 나눈다. LLC는 상위와 MAC의 연결과 흐름을 제어하며, 실제 2계층의 거의 모든 기능은 MAC이 담당하고 있다.

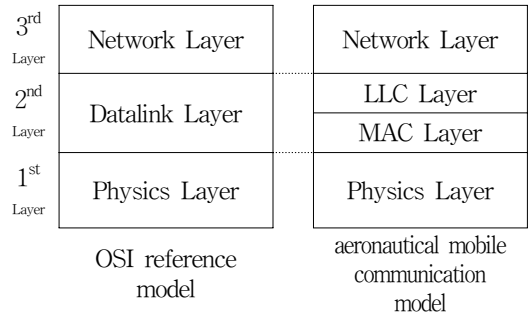


그림 1. OSI 참조 모델과 항공이동통신 모델의 구조  
Fig. 1 The structure of OSI reference model and structure of aeronautical mobile communication model

MAC 계층의 기능은 상위 계층에서 데이터를 받아 프레임으로 가공하고, 채널의 사용 여부를 감시하고 대기한다. 또한, 채널이 비어있을 경우 규정 시간을 기다린 다음 전송을 개시하고, 충돌이 발생할 경우 랜덤 시간만큼 기다린 후 재전송을 실시한다.

따라서 프로토콜은 이동통신의 성능에 영향을 미치는 여러 요소 중에서 가장 중요한 부분을 차지하고 있으며 MAC의 설계가 해당 이동통신 시스템의 전체 성능을 좌우하게 된다. 특히, 무선 통신에서는 채널이 공기를 매개로 전송됨으로써 더욱 중요하다고 할 수 있다. MAC은 한정된 무선 채널을 다수의 가입자가 공유할 수 있게 하는 일련의 프로토콜로서 통계적 다중화 기능을 무선 매체를 통하여 확장하는 역할을 수행하며 현재까지 많은 분야에서 연구가 진행되어 왔다.

패킷 전송을 위한 매체접속제어 프로토콜은 크게 고정 할당방식, 랜덤 할당방식, 요구 할당방식으로 분류할 수 있다. 고정할당방식은 채널을 임의의 사용자에게 설정해주는 방식으로써 주로 시분할에 의한 방식으로 TDMA가 있으며, 전송하고자 하는 사용자가 요구 신호를 보내게 되면, 이에 따라 채널을 접속할 수 있는 권한을 얻는 방식으로써 주로 예약 기반의 요구할당 방식인 STDMA( Self-organized Time Division Multiple Access)가 있다. 랜덤 할당방식은 한 채널을 다수의 사용자가 경쟁적으로 사용하는 경쟁 기반 방식으로써 순수 ALOHA, 슬롯화된 ALOHA, 비지속형 CSMA, 1-지속형 CSMA, p-지속형 CSMA 그리고 유선 LAN에서 사용하는 CSMA/CD 방식이 있다[1-2].

고정 할당 방식은 시간 분할된 일정 대역폭과 주파수를 특정 항공기에 할당하여 지상국에 송신 하고자 하는 정보가 있는 없던 상관없이 그 슬롯을 독점적으로 사용하도록 하는 방식으로 일정한 비율로, 연속적으로 발생하는 트래픽에는 적합하지만 간헐적인 트래픽이 발생할 경우 채널 낭비가 많다는 단점이 있다.

랜덤 접속방식은 전체 대역폭이 한 전송 채널로 주어지므로 트래픽이 많을 경우 잦은 충돌이 발생할 수 있어, 이러한 충돌로 인한 성능 저하를 방지하기 위하여 채널을 슬롯으로 분할하여 사용하거나, 감지 캐리어를 이용하여 데이터 전송 전에 채널의 상태를 파악하는 방법을 사용하며, 두 가지 방법을 혼용하기도 한다. 따라서 랜덤 접속방식은 간헐적인 트래픽 환경에는 적합하지만 패킷 도착 확률이 높은 환경에서는 시스템이 불안해지고 지연시간이 급격히 증가한다는 단점이 있다.

요구 할당방식에서는 채널의 일부분이 예약을 포함한 제어 채널로 사용되며 경쟁방식을 통해 채널을 할당받고, 데이터 전송기간에는 예약된 기간 동안 충돌 없이 통신하는 방식으로 유동적인 트래픽을 갖는 환경에 적합하지만, 채널의 일부분이 항상 어느 정도 낭비되어 간헐적이고 적은 양의 트래픽을 갖는 시스템에서는 랜덤 접속방식보다 성능이 떨어지는 단점이 있다.

일반적으로 앞에서 설명한 기본적인 매체접속제어 프로토콜과 사용자 트래픽 환경에 적합한 다중접속기술을 조합하여 사용함으로써 시스템의 효율성과 융통성을 높일 수 있다.

현재 항공이동통신에서 주로 사용하는 다중 접속 방식은 CSMA/CA 방식이며, 본 논문에서는 이 방식을 무인항공기 통신에 적용하여 검증을 수행할 것이다.

## 2.2 CSMA/CA

CSMA/CA는 무선랜에서 일반적으로 사용되는 MAC 알고리즘으로써 “listen before talk” 라고 하는데, 자동적인 매체 공유를 가능토록 해주는 기본적인 매체접속 프로토콜이다. 네트워크 연결에서 데이터 전송이 없는 경우라도 충돌을 대비하여 확인을 위한 신호를 전송한다. 확인 신호가 충돌 없이 전송된 것을 확인하면 이어서 데이터를 보내게 된다.

무선매체에 대한 접근은 조정 함수를 이용하며, 이 더넷과 같은 CSMA/CA 접근은 분산 조정함수에 의해 제공된다. 만약 무경쟁 서비스가 필요하다면, 포인

트 조정 함수를 이용할 수 있는데 이 함수는 DCF의 상위에서 구성되어 있다. 무경쟁 서비스는 중앙 집중식 네트워크에서만 제공된다. IEEE 802.11 CSMA/CA 프로토콜의 MAC 조정 함수는 그림 2에 나타나 있다.

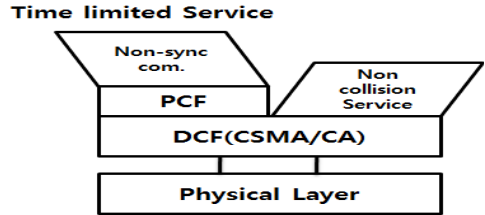


그림 2. MAC 조정 함수  
Fig. 2 MAC coordinate function

CSMA 프로토콜에서 하나 이상의 항공기가 동시에 전송을 시도할 때 충돌이 발생하게 되는데 일반적으로 충돌이 발생하는 확률분포는 한 항공기에서 패킷 전송이 완료된 직후에 가장 많이 발생하게 된다. 따라서 한 번 충돌한 패킷의 계속적인 충돌을 막기 위한 방식으로 비지속형 CSMA, 1-지속형 CSMA, p-지속형 CSMA 방식이 있으며, 현재 항공용 이동통신에서는 ARINC 628에 정의되어 있는 바와 같이 비지속형 CSMA를 사용한다.

### 2.2.1 비지속형 CSMA

비지속형 CSMA(Nonpersistent CSMA)는 항공기가 계속해서 캐리어를 감지할 필요 없이 패킷 전송 이전에 캐리어를 확인하여 채널이 idle 상태이면 패킷을 전송한다. 그러나 채널이 busy 상태이면 패킷 충돌 가능성을 줄이기 위해 임의의 패킷 전송 시간만큼 지연시킨다. 지연시간 경과 후 다시 채널을 감지해보고 idle상태이면 패킷을 전송하게 된다. 그림 3에 비지속형 CSMA에서의 전송 방식을 나타내었다[3-6].

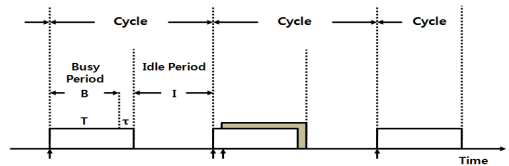


그림 3. 비지속형 CSMA 시간 주기 구조  
Fig. 3 Structure of Non-persistent CSMA time period

$B$ 를 평균 전송기간,  $I$ 를 평균 idle 기간,  $U$ 를 전송 기간 내에서 패킷이 성공적으로 전송된 평균기간이라고 할 때 비지속형 CSMA방식의 채널 효율은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$S = \frac{U}{B+I} = \frac{Te^{-g\tau}}{T+2\tau-\frac{1-e^{-g\tau}}{g}+\frac{1}{g}} \quad (1)$$

$$= \frac{gTe^{-g\tau}}{g(T+2\tau)+e^{-g\tau}}$$

식 (1)에서  $T$ 는 한 개의 패킷을 전송하는데 소요되는 시간을,  $\tau$ 는 최대 전파 지연시간을 나타내며, 초당  $g$ 개의 패킷을 발생시키는 프와송 프로세스를 따른다고 가정하였다.

식 (1)을  $G=gT$ 의 패킷 전송시간으로 정규화하면 다음과 같은 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$S = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2A)+e^{-aG}} \quad (2)$$

식 (2)에서  $a$ 는 정규화된 전파 지연시간을,  $G$ 는 한 슬롯 기간에서의 평균트래픽으로 전송준비가 완료된 항공기의 수를 나타낸다.

### III. 시뮬레이션 및 성능 분석

앞에서 언급한 CSMA/CA 매체접속제어 방식을 적용하여 무인항공기 통신 환경에 맞는 몇 가지 상황을 설정하여 시뮬레이션을 수행하며 결과를 통해 성능 확인 및 적합성을 확인하도록 한다.

#### 3.1 무인항공기의 통신환경

일반적인 항공기는 지상 관제소와 텍스트 메시지 또는 음성 등을 주고받으며 통신을 하지만 무인항공기는 지상통제소로부터 제어 메시지를 전달받아 그에 대한 명령을 수행하며, 지상통제소로 응답신호 또는 획득한 정보 등을 보내게 된다[7-9]. 무인항공기와 지상통제소간의 통신환경은 그림 4와 같다.

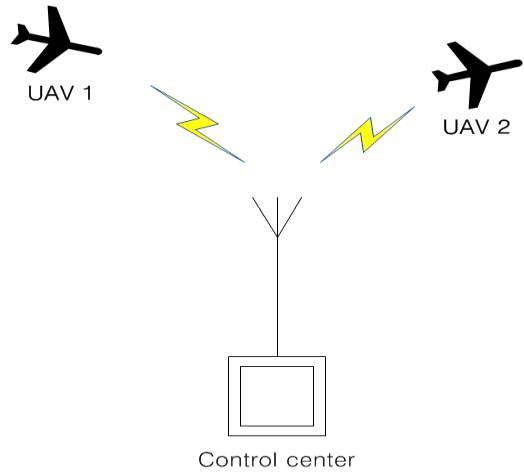


그림 4. 무인항공기와 지상통제소간의 통신  
Fig. 4 Communication of UAVs with control center

이러한 통신환경에서 지상통제소에서 무인항공기로 전달되는 데이터의 종류는 다음과 같다.

- 속도, 방향, 고도 등 무인항공기 운용과 관련된 조작 명령
- 임무장비(SAR, EO/IR 등) 조작 명령
- 비상상황(연료 부족, 비행 금지구역 진입, 기체 이상 등) 에서 무인항공기 제어 명령 등

반대로 무인항공기에서 지상통제소로 전달되는 데이터는 지상에서 오는 명령에 대한 응답 데이터와 주기적으로 송신되는 무인항공기의 상태정보에 대한 데이터이다. 데이터의 크기는 200 Byte로 하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 단순히 무인항공기의 정상 동작 정보만을 송수신하는 경우는 최소한의 데이터 크기인 50 Byte로 하여 시뮬레이션 검증을 수행하였다.

#### 3.2 통신환경에 따른 시뮬레이션 및 결과

본 절에서는 기존 민간여객기 통신에서 사용하는 매체접속제어 방식인 CSMA/CA를 무인항공기와 이를 제어하는 지상통제소간의 통신에 적용하여 무인항공기와 지상통제소간의 데이터 처리량에 대하여 확인하고 이의 적합성을 확인하도록 한다. 그리고 몇 가지 통신환경을 정하여 시뮬레이션 결과를 비교하도록 한다. 시뮬레이션 환경은 표 1과 같으며, 처리과정은 그림 5와 같다.

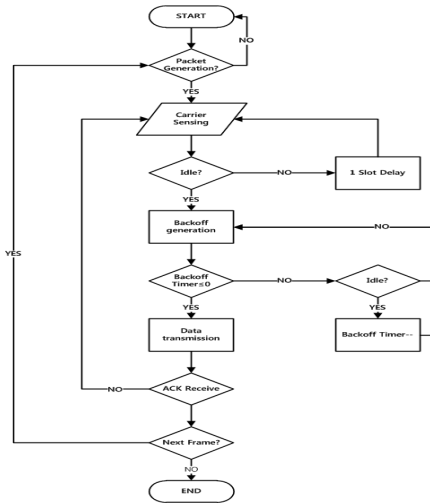


그림 5. 처리 과정  
Fig. 5 Process flowchart

표 1. 시뮬레이션 조건  
Table. 1 Simulation Conditions

Parameter	Case 1.	Case 2.	Case 3.
transmit speed	31.5kbps	31.5kbps	31.5kbps
Data size	200 Byte	100 Byte	50 Byte
Com. range	50NM	50NM	50NM
Access UAVs	20	20	20
Propagation Delay	1.2ms	1.2ms	1.2ms
Slot Time	2.4ms	2.4ms	2.4ms
SIFS Time	1.2ms	1.2ms	1.2ms
PIFS Time	3.6ms	3.6ms	3.6ms
DIFS Time	6.0ms	6.0ms	6.0ms
Retransmit Delay	6.0ms	6.0ms	6.0ms
ACK Length	15 bytes	15 bytes	15 bytes
Sensing/channel error	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$10^{-8}$
Max retransmit	5 times	5 times	5 times

그림 6, 7은 동시에 접속하여 동시에 통신하는 무인항공기의 대수가 1~20대로 늘어나면서 무인항공기와 지상통제소간에 주고받는 데이터의 처리량과 통신 지연시간에 대한 결과를 나타낸 것이다. 이때 데이터의 크기는 200 Byte, 100 Byte, 50 Byte로 설정을 하였으며, 이는 무인항공기와 지상통제소간에 주고받는 무인항공기의 상태정보량을 가정하기 위함이다. 그림 6에서 보는바와 같이 무인항공기의 대수가 증가함에

따라 데이터 처리량이 데이터 크기가 클 때 더 커지는 것을 볼 수가 있다. 그리고 그림 7에서는 무인항공기의 대수에 따른 데이터 전송 지연시간을 나타낸 것인데 동시에 통신하는 무인항공기의 대수가 20대가 되어도 지연시간은 크게 영향이 없는 것으로 보아 적용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

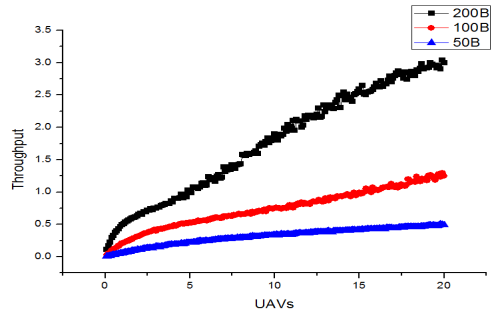


그림 6. 데이터 크기 변화에 따른 처리량 결과  
Fig. 6 Throughput results of data sizes change

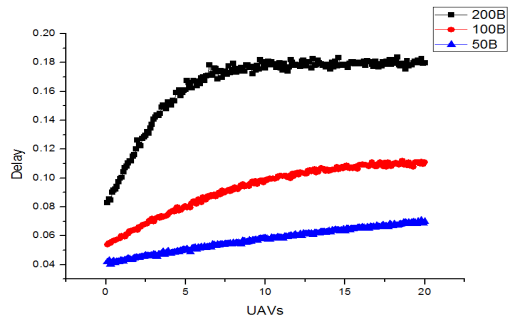


그림 7. 데이터 크기 변화에 따른 지연시간 결과  
Fig. 7 Delay results of data sizes change

#### IV. 결론

본 논문에서는 점차 활용범위가 증가하고 있는 무인항공기의 적합한 매체접속제어 방식을 연구하기 위해 기존 민간항공기에서 사용하고 있는 CSMA/CA를 적용하여 검증을 수행하였다. 다수의 무인항공기가 지상통제소에 의해 제어되는 환경을 가정하였으며, 대량의 임무데이터가 포함된 정보를 주고받는 경우와 정상동작 정도를 확인할 수 있는 정도의 데이터를 포함한 정보를 주고받는 경우 등을 통해 처리량 및 통신

지연시간 등을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 시뮬레이션 결과 민간항공기처럼 무인항공기에도 CSMA/CA와 같은 매체접속제어 방식을 적용하는 것도 가능할 것이라 사료된다.

### References

- [1] Zimmer, Tranter, *Principle of Communication - Second Edition*, Houghton Mifflin: Wiley, 1990, pp.156-213
- [2] F. Tobagi and V.Hunt, "Performance analysis of carrier sense multiple access with collision detection," *Computer Networks*, vol. 4, Nov. 1980, pp. 245-259.
- [3] L. Kleinrock and F. Tobagi, "Packet Switching in Radio Channels : Part I-Carrier Sense Multiple Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics," *IEEE Transactions on Communications*, vol. com-23, no.12, Dec. 1975, pp. 1400-1416.
- [4] F. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet Switching in Radio Channels : Part II-The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple Access and the busy-Tone Solution," *IEEE Transactions on Communications*, vol. com-23, No. 12, pp/ 1417-1433, Dec. 1975.
- [5] J. Lee, "A study on the CSMA/CA performance Improvement based IEEE 802.15.6," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 11, Nov. 2015, pp.1225-1230.
- [6] P. Chatzimisios, A. Boucouvalas, and V. Vitsas, "Packet delay analysis of IEEE 802.11 MAC protocol," *IEEE Electronic Letters*, vol. 39, no. 18, Sept. 2003, pp.1358-1359.
- [7] Austin, *Unmanned Aircraft Systems-UAVS Design, Development and Deployment*, WILEY, 2010, pp.183-195.
- [8] S. Kim, "A Study on the attitude control of the quadrotor using neural networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 9, Sep. 2014, pp.1019-1025.
- [9] J. Jo, "An Efficient MANET Routing Protocol for the Drone Delivery," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, Sep. 2015, pp.973-978.

### 저자 소개

#### 조운현(Yun-Hyun Jo)



2007년 2월 인하대학교 전자전기공학부 졸업(공학사)  
2009년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2009년 3월 ~ 현재 인하대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 안테나, 레이더 시스템, 초고주파회로

#### 윤인섭(In-Seop Yoon)

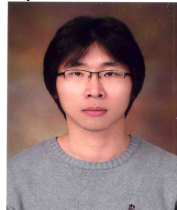


2011년 2월 한국산업기술대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2013년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2013년 3월 ~ 현재 인하대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 안테나, 레이더 시스템, 초고주파회로

#### 김상욱(Sang-Uk Kim)



2006년 2월 초당대학교 정보통신공학부 졸업(공학사)  
2008년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2008년 9월 ~ 현재 인하대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 안테나, MIMO 시스템, 초고주파회로

#### 박효달(Hyo-Dal Park)



1978년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1984년 프랑스로립항공우주대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1987년 프랑스로립항공우주대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1992년 ~ 현재 인하대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 항공통신 시스템, 초고주파회로