

# LTE 기반 이동 위성통신 시스템에서의 효율적인 AMC 방식

여 성 문\*, 홍 태 철\*\* 정회원, 김 수 영\* 종신회원, 구 본 준\*\* 정회원

## An Efficient AMC Schemes for Mobile Satellite Communication Systems based on LTE

Sungmoon Yeo\*, Tae Chul Hong\*\**Regular Members*, Sooyoung Kim\* *Lifelong Member*

Bon-Jun Ku\*\* *Regular Member*

### 요 약

미래의 이동통신에서 하이브리드/통합 위성-지상 시스템의 중요성이 증가할 것으로 예상된다. 대부분의 이동통신 시스템은 지상 시스템 규격에 맞게 구성되어 있는데 이 경우 위성 시스템에 적합하게 호환성을 가지도록 하는 것이 시스템의 효율성 측면에서 매우 중요하다. 모든 4G 이동통신의 지상 시스템 규격에서는 자원을 효과적으로 사용하기 위해 수 msec 단위로 갱신이 가능한 적응형 변조 및 부호화 방식을 채택하였으나 위성 시스템의 긴 왕복지연 때문에 이러한 적응형 방식을 그대로 적용하기는 불가능하고, 단기 페이딩에 효과적으로 대응할 수 없다. 본 논문에서는 지상 시스템 규격과 최대의 호환성을 가지면서도 이동위성통신 시스템의 채널 환경에 적합한 적응형 변조 및 부호화 방식을 제시한다. 또, 단기 페이딩에 효과적으로 대응하기 위해 인터리버를 결합한 성능 시뮬레이션 결과를 비교 분석한다.

Key Words : mobile satellite communications; LTE; interleaver; Adaptive modulation and coding.

### ABSTRACT

In future mobile networks, hybrid/integrated satellite and terrestrial systems will play an important role. Most of the mobile communication systems are focused on the terrestrial systems, in this case, compatibilities between the satellite and terrestrial systems are very important for efficiency of the systems. Terrestrial systems of all the 4G mobile communication adopted the adaptive modulation and coding (AMC) schemes for efficient usage of resources, and the updating interval of resource allocation in an order of msec. However, because of the long round trip delay of satellite systems, we cannot employ the same AMC scheme specified for the terrestrial system, and thus it cannot effectively counteract to short term fading. In the paper, we propose the method to apply AMC to mobile satellite systems. In addition, in order to effectively counteract to short term fading, we present the simulation results of the AMC combined with an interleaver.

### I. 서 론

음성과 영상 서비스를 주 목적으로 했던 이동통신 기술인 3G에 이어 여러 서비스를 하나로 통합한 4G가 차세대 이동통신으로 주목 받고 있다. 이 4G 의 여러 후보 중에서 주도권을 잡은 기술이 LTE-Advanced 인데 ITU-R에서는 IMT-Advanced 표준 제정을 위한 일정 및 표준 요구 사항

등을 정의하였으며, 3GPP에서는 이러한 ITU-R의 표준 일정에 맞추면서 IMT-Advanced 표준을 위한 요구 사항을 충족시키기 위한 기술 논의를 진행하고 있다 [1]. 이에 본 논문에서는 향후 IMT-Advanced 표준이 유력시 되는 3GPP LTE 기술을 기반으로 하는 이동위성통신 기술을 고려한다.

하이브리드/통합 위성-지상 시스템의 중요성이 증가하게 되어 이와 같은 시스템의 요구 사항을 만족하기 위해서 차세대 이동위성통신 규격은 지상 시스템의 규격과 최대한의 호

\*전북대학교 전자정보공학부 디지털통신시스템연구실 ([samoot@jbnu.ac.kr](mailto:samoot@jbnu.ac.kr), [sookim@jbnu.ac.kr](mailto:sookim@jbnu.ac.kr)), \*\*전자통신연구원([taechori@etri.re.kr](mailto:taechori@etri.re.kr), [bjkoo@etri.re.kr](mailto:bjkoo@etri.re.kr))

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI001794, IMT-Advanced 위성접속기술 개발] 접수일자 : 2009년 12월 30일, 수정완료일자 : 2010년 5월 25일, 최종게재확정일자 : 2010년 6월 7일

환성을 갖도록 개발될 필요가 있다. 그러나 위성통신 시스템은 긴 왕복 시간 지연 등의 특성들로 인해서 지상망과 다른 점이 많기 때문에 현재 지상망의 특성에 맞도록 개발된 규격을 그대로 적용하는 데에는 여러 가지 어려움이 있다. IMT-Advanced 시스템의 가장 두드러지는 특징 중의 하나는 변화하는 채널환경에 따라 대응하는 적응형 변조 및 부호화 (adaptive coding and modulation; AMC)를 활용한 적응형 전송 방식이 필수적으로 사용된다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 LTE 규격에 바탕을 둔 이동 위성 시스템에 적합한 AMC 방식의 선정 방법을 제시한다.

그러나, 정지궤도 위성 시스템의 긴 왕복 지연 때문에, 위성시스템에서 AMC를 사용할 경우에는 그 갱신 간격은 거의 초 단위로 이루어져야 할 것이다. 따라서 위성통신 시스템에서의 적응형 전송은 약 수백 msec 단위 이하의 빠른 페이딩에는 효과적으로 대응할 수 없다 [2]. 본 논문에서는 이러한 점을 고려하여, AMC 방식에 인터리버를 접목하여 그 성능을 분석한다.

본 서론에 이어 II장에서는 LTE 규격에 바탕을 둔 이동 위성 시스템에 적합한 AMC 방식의 선정 방법을 제시한다. III장에서는 II장에서 위성 시스템에 적합하게 적용한 AMC 방식에 인터리버를 접목한 성능 시뮬레이션 결과를 비교, 분석한 후 마지막으로 IV장에서 결론을 맺기로 한다.

## II. AMC 방식의 선정 방법

본 장에서는 LTE 기반 위성 통신 시스템에서 효율적인 AMC 방식의 선정 방법을 제안한다. 먼저 효율적인 AMC 방식의 선정을 위하여 페이딩 채널에 대한 통계적인 분석을 한다. 이러한 페이딩 채널의 분석을 토대로 AMC 방식의 MCS 레벨을 선정하고 선정된 MCS 레벨의 운용 방법을 소개한다.

### 1. Fading 채널 분석

LTE에서 MCS 레벨에 따른 가우시안 채널에서의 프레임 오류율 (frame error rate; FER) 성능은 MCS 레벨간 성능 차이가 평균 0.8 dB 정도이다. 또한 AMC 방식 간의 잦은 스위칭은 시스템의 복잡도를 증가시킬 뿐 아니라 시스템 outage 확률도 그만큼 높아질 수 있기 때문에 채널의 특성에 비해 지나치게 세밀한 AMC 레벨의 선정은 바람직하지 못하다.

적절한 AMC 레벨의 선정을 위해서는 먼저 페이딩 채널에 대한 통계적인 분석이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 이동 위성통신 채널 모델 중 참고 문헌 [3]의 ITU-R 권고서에 IMT-2000 위성 시스템용으로 제시되어 있는 모델 중 B에서 사용자 속도가 3 km/h인 경우를 고려한다. 페이딩 채널을 분석함에 있어서 여러 가지 사항이 고려되어야 하지만 그 중 페이딩의 기울기가 AMC 방식을 설계하는데 가장 중요한 역할을 한다. 그림 1은 참고문헌 [3]의 B 모델에 대한 페이딩의 기울기를 분석한 결과이다. 그림 1에는 0.5 초 0.25 초 및 0.125 초인 3 가지의 시간 간격에 따른 페이딩 기울기의

음의 값과 양의 값을 나타낸 것이다.

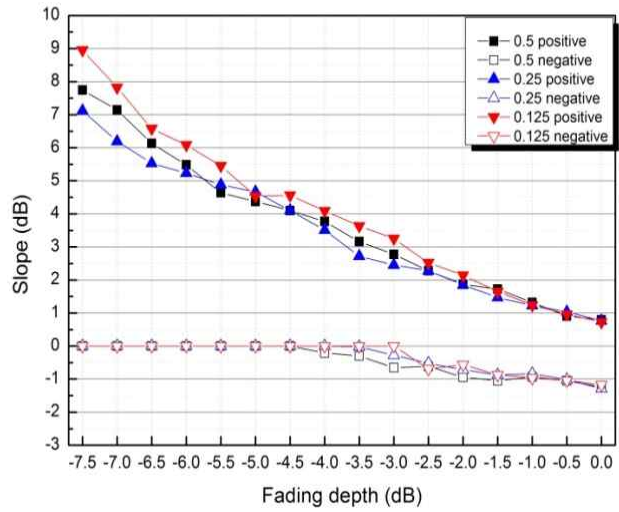


그림 1. ITU-R/B 채널의 페이딩 깊이별 기울기(사용자 속도 3 km/h)

그림 1에서 성능 저하의 중요한 지표인 대부분의 음의 기울기 값을 갖는 페이딩 깊이는 0 ~ -3 dB일 때이고 이 때의 페이딩 깊이 변화는 0 ~ -1 dB로 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나, 위의 기울기 값은 평균 값이므로 보다 정확한 분석을 위해서는 실제로 각 기울기들이 어떻게 변화되는지를 보다 실제적으로 관찰해 볼 필요가 있다.

즉, 위성의 긴 왕복 지연으로 인하여 초 단위로 AMC 방식을 전환해야 하기 때문에 페이딩의 기울기가 1초 동안에 어떤 변화를 갖는지 정확하게 파악하면 효과적인 AMC 방식을 선정할 수 있다. 그림 2는 ITU-R/B 모델에 대한 100 초 동안 페이딩 기울기의 변화를 나타낸 것이다.

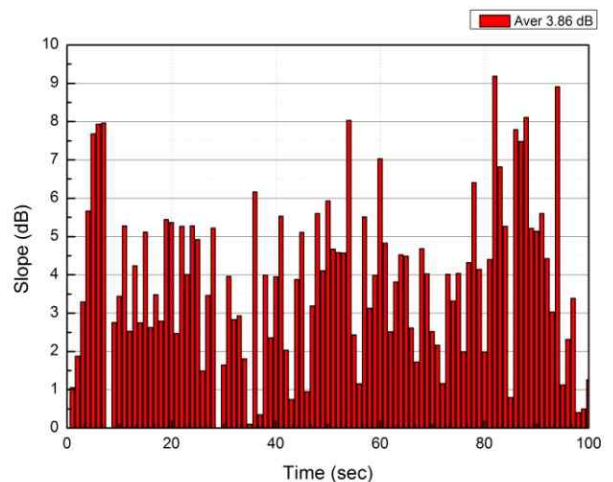


그림 2. 시간에 따른 초당 페이딩 기울기 변화

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 초당 페이딩 기울기의 절대값 평균이 약 3.86 dB로 비교적 크기 때문에 AMC 방식을 선정하는데 있어서 전력 마진이 4 dB 이상 필요하다는 것을 알 수 있다.

2. 위성통신 시스템에서의 적합한 AMC 방식

본 논문에서는 위성시스템에서의 AMC 성능 분석을 위하여 그림 3과 같이 QPSK 방식을 사용하는 MCS 레벨 0~9중 AWGN 채널에서의 비트 오류율 (bit error rate; BER) 성능을 살펴보았다. BER 성능이  $10^{-5}$ 을 만족시키는 각 MCS의 SNR을 표 1과 같이 조사하였고 QPSK 방식을 사용하는 MCS 레벨 중 부호화율이 최소인 MCS 0와 최대인 MCS 9을 선정하고 두 MCS 레벨 사이의 약 2 dB의 일정한 간격을 갖는 MCS 레벨을 3과 6로 선정하였다.

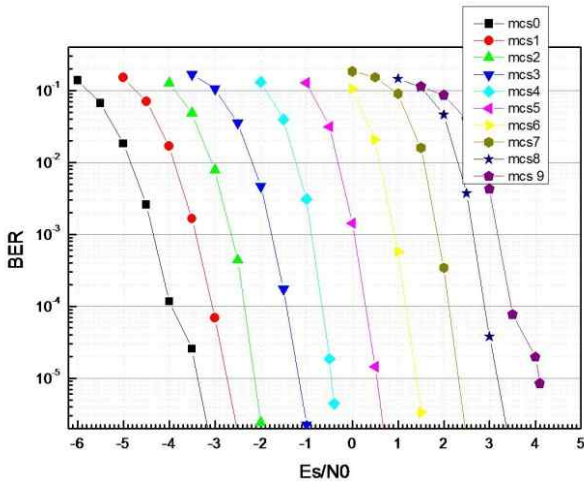


그림 3. LTE 에서 MCS 레벨별 AWGN 채널에서의 BER 성능

표 1. MCS 레벨별  $10^{-5}$  BER을 만족시키는 SNR 값

MCS 레벨	SNR@BER= $10^{-5}$
0	-3.4 dB
1	-2.75 dB
2	-2.1 dB
3	-1.2 dB
4	-0.45 dB
5	0.5 dB
6	1.4 dB
7	2.35 dB
8	3.15 dB
9	4.2 dB

즉, SNR이 4.2 dB로 설정되었을 경우, 신호의 페이딩이 전혀 없다면 MCS 9로 전송하여 수신 BER을  $10^{-5}$ 으로 유지할 수 있을 것이다. 그러나, 페이딩이 발생하게 되면 측정된 페이딩의 깊이에 따라서 이에 해당하는 다른 방식으로 적절히 변환시켜 줌으로써 BER 성능의 열화를 방지하여야 한다.

정지궤도 위성 시스템의 긴 왕복 지연 때문에 AMC의 갱신 간격은 초 단위로 이루어져 한다. 따라서, 매 초 간격으로 측정된 수신 SNR 값을 토대로 표 1에 제시된  $10^{-5}$  BER을

만족시킬 수 있는 MCS 레벨을 선택하는 방식을 AMC 방식 A라고 명명하였다. 그러나, 이 방식의 경우 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 1초 이내에 MCS 레벨만으로 커버할 수 없는 페이딩의 경사가 생기게 되면 BER 성능 저하가 발생하게 될 것이므로 어느 정도의 전력 마진이 필요할 것이다. 그림 1에 제시된 바와 같이 페이딩 값이 약 3 dB 이하에서는 1초당 평균 1 dB 정도의 페이딩 경사가 생기게 되므로, 이 범위에서 운용하게 되는 MCS 9의 경우 1 dB의 전력 마진을 두도록 하는 방식이 B이다. 그림 4에 두 방식에 대한 비교가 제시되어 있다.

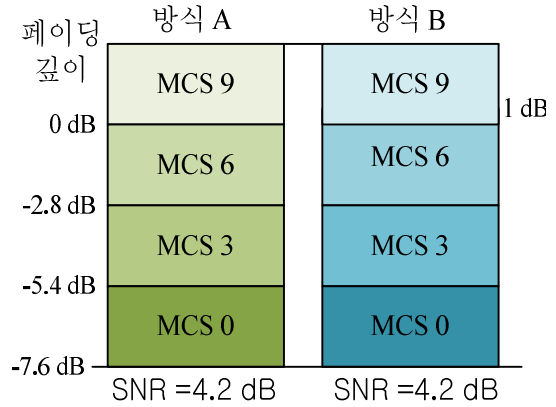


그림 4. AMC방식 A 및 B의 SNR 운용 범위

또한 각 초당 페이딩 깊이에 따라서 결정된 MCS 레벨이 1 초안에 급격히 변화하는 페이딩에 대한 성능 저하의 보상으로써 전체적인 전력을 높여주는 방식을 C와 D로 명명하였다. 그림 2에 제시된 바와 같이 인접한 초의 기울기 간격이 평균 3.86 dB 이므로 방식 A에서 MCS 레벨별 각 페이딩 깊이는 그대로 두고 전력 마진을 2 dB 및 3 dB로 설정하여, 운용 SNR 값을 6.2 dB 및 7.2 dB로 설정한 방식이 각각 C와 D이다. 그림 5에 두 방식에 대한 비교가 제시되어 있다.

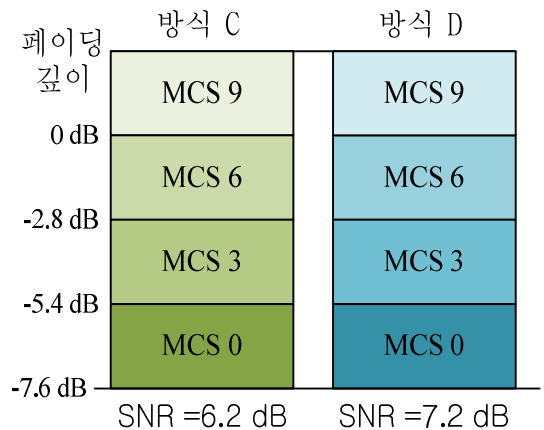


그림 5. AMC방식 C 및 D의 SNR 운용 범위

그러나, 그림 2에서 살펴본 바와 같이 1초당 안의 페이딩 기울기 값은 방식 C 및 D에서 설정한 전력 마진 이상으로 발생할 수 있다. 그러나, 3 dB 이상의 전력 마진을 상시 사용하는 것은 지나치게 비 경제적이므로 참고문헌

[4]에서 LTE 시스템의 AMC 방식과 효과적으로 결합이 가능한 블록 인터리버와 결합한 경우와 그렇지 않았을 경우의 성능을 비교하여 살펴본다.

### III. 시뮬레이션

본 장에서는 II장에서 제시한 여러 가지 AMC 방식에 대하여 다양한 크기의 인터리버를 결합한 것과 결합하지 않은 경우에 대한 BER 성능 시뮬레이션 결과를 비교하여 제시한다.

시뮬레이션에서는 LTE 규격인 [5]를 사용하였고 인터리버의 크기는 각각 120, 240, 360 및 720 msec이다. 채널은 앞 절에서 분석한 사용자 속도 3 km/h일 때의 ITU-R/B를 사용하였다. 그리고 효과적인 AMC 사용의 지표가 되는 정보어의 스펙트럼 효율(information spectral efficiency; ISE)을 살펴보기 위해 MCS 레벨별 사용률을 측정하였다.

표 2. AMC 방식 A의 시뮬레이션 성능 결과

인터리버 크기 (msec)	MCS 레벨별 사용률				BER	ISE (bps /Hz)
	9	6	3	0		
No					$4.4 \times 10^{-2}$	1.03
120					$3.7 \times 10^{-2}$	1.04
240	53%	40%	6%	1%	$2.9 \times 10^{-2}$	1.05
360					$2.7 \times 10^{-2}$	1.05
720					$2 \times 10^{-2}$	1.06

※ISE : Information Spectral Efficiency

표 3. AMC 방식 B의 시뮬레이션 성능 결과

인터리버 크기 (msec)	MCS 레벨별 사용률				BER	ISE (bps /Hz)
	9	6	3	0		
No					$3 \times 10^{-2}$	0.87
120					$2.2 \times 10^{-2}$	0.88
240	16%	77%	6%	1%	$1.3 \times 10^{-2}$	0.89
360					$1 \times 10^{-2}$	0.89
720					$7 \times 10^{-3}$	0.9

표 2와 표 3은 그림 3의 AMC 방식들을 적용했을 때의 BER 성능 및 스펙트럼 효율에 관한 결과이다. 각 표에서 제시된 스펙트럼 효율에는 BER 값이 고려되어 성공적으로 전송된 심볼들에 대한 스펙트럼 효율을 표기하였다. 인터리버를 사용할 경우 단기 페이딩에 효과적으로 대처가 가능하기 때

문에, 인터리버를 사용하지 않은 방식에 비해 더 우수한 성능을 낼 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 특히 인터리버의 크기가 클수록 성능이 더 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 방식 A의 MCS 6에 1 dB의 여유를 둔 방식 B가 MCS 9을 방식 A 보다는 적게 사용하고 또한 전송된 정보어가 상대적으로 적기 때문에 스펙트럼 효율은 작다는 점을 확인할 수 있다.

다음 표 4와 표 5는 그림 5의 AMC 방식들을 적용했을 때의 성능 결과이다. 표 2의 MCS 레벨별 사용률을 비교해 봤을 때 표 4와 표 5는 MCS 9의 사용률이 적고 MCS 6의 사용률이 많지만 정보어를 성공적으로 전송할 확률이 높기 때문에, 즉 BER이 상대적으로 낮기 때문에 정보어의 스펙트럼 효율성은 비슷하게 나타났다. 따라서, 방식 C와 D가 방식 A, B와 비교해서 더 좋은 성능 및 동일하거나 더 좋은 정보어의 스펙트럼 효율성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

표 4. AMC 방식 C의 시뮬레이션 성능 결과

인터리버 크기 (msec)	MCS 레벨별 사용률				BER	ISE (bps /Hz)
	9	6	3	0		
No					$4.4 \times 10^{-2}$	1.03
120					$1.3 \times 10^{-2}$	1.03
240	46%	48%	5%	1%	$6.4 \times 10^{-3}$	1.04
360					$4.5 \times 10^{-3}$	1.04
720					$1.3 \times 10^{-3}$	1.04

표 5. AMC 방식 D의 시뮬레이션 성능 결과

인터리버 크기 (msec)	MCS 레벨별 사용률				BER	ISE (bps /Hz)
	9	6	3	0		
No					$1.1 \times 10^{-2}$	1.03
120					$7.4 \times 10^{-3}$	1.04
240	46%	48%	5%	1%	$3.2 \times 10^{-3}$	1.04
360					$1.4 \times 10^{-3}$	1.04
720					$3.8 \times 10^{-4}$	1.05

### IV. 결론

본 논문에서는 LTE 규격을 기반으로 하는 이동 위성통신 시스템의 효율적인 AMC 방식들을 소개하였다. 이 AMC 방식들은 페이딩 채널의 통계적인 특성에 대한 분석과 적절한

SNR 운용 범위를 선택하고 전력을 효과적으로 조정하여 결정할 수 있다. 그리고 위성통신 시스템의 긴 왕복지연 특성에 의하여 AMC 갱신 시간을 초단위로 하였는데 제안한 AMC 방식들과 인터리버를 결합하여 사용함으로써 단기간의 페이딩에 효과적으로 대처할 수 있도록 하였다.

또한, LTE Release 8에 기반을 두고 있는 본 연구는 향후 Release 9에 적용할 수 있는 기틀을 마련할 것으로 보인다.

**참 고 문 헌**

[1] 윤영우, "LTE-Advanced 주요 표준화 동향", 한국통신학회지, 제 26권 제12호, pp. 29-35, 2009

[2] 여성문, 홍태철, 김수영, 송상섭, 안도섭, "LTE 기반 이동 위성통신 시스템에서의 효과적인 페이딩 극복을 위한 연구", 2009년도 추계학술대회, 강원도 평창, 11월 26 ~ 27일. 2009.

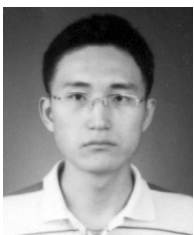
[3] Recommendation ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000.

[4] 여성문, 홍태철, 김수영, 송상섭, 안도섭, "이동 위성통신 시스템에서의 LTE 기반 AMC 방식을 위한 인터리버 설계", 한국전자공학회논문지, 제 47 권, TC편, 제 3 호, pp. 8-15, 2010

[5] "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 8) ", 3GPP TS 36.211 V8.3.0(2008-05).

**저 자**

여 성 문(Sungmoon Yeo) 정회원



2005년 2월 : 전북대학교 전자정보공학부 학사졸업  
 2007년 2월 : 전북대학교 전자공학과 석사졸업  
 2007년 3월~현재 : 전북대학교 전자정보공학부 박사과정

<관심분야> 위성통신, 디지털 통신

홍 태 철(Tae Chul Hong) 정회원



2000년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사졸업  
 2003년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사졸업  
 2003년 3월~현재 : ETRI 연구원

<관심분야> 위성통신, 무선통신시스템, 무선네트워크

김 수 영(Sooyoung Kim) 정회원



1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사졸업  
 1990년~1991년 : ETRI 연구원  
 1992년 : Univ. of Surrey, U.K 공학석사

1995년 : Univ. of Surrey, U.K 공학박사  
 1994년~1996년 : Research Fellow, Univ. of Surrey, U.K  
 1996년~2004년 : ETRI 광대역무선전송연구팀장  
 2004년~2008년 : 전북대학교 전자정보공학부 조교수  
 2008년~현재 : 전북대학교 전자정보공학부 부교수

<관심분야> 오류정정부호화방식, 이동/위성통신 전송방식

구 본 준(Bon-Jun Ku) 정회원



1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사졸업  
 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사졸업  
 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 박사 졸업

1995년~1997년 : 한국타이어 중앙연구소  
 1999년 3월~현재 : ETRI 위성휴대전송연구팀장

<관심분야> 위성통신, HAPS, 주파수공유, 위성안테나