

# 미래 위성 휴대 방송 통신 기술 (위성 IMT-Advanced 접속 기술)

김희옥 · 강군석 · 장대익

한국전자통신연구원  
위성휴대방송통신연구실

## I. 서 론

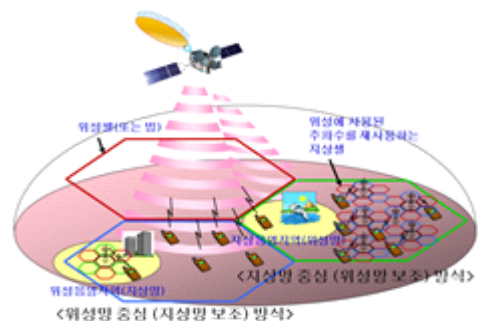
휴대 위성 이동 통신 기술은 개인 휴대 단말 사용자에게 이동 통신 서비스가 제공되지 않는 영토 전 지역에서 위성을 사용하여 기존 지상망을 보완하거나, 재해 재난 시 긴급 통신 수단을 제공할 수 있다. 이러한 휴대 위성 통신 기술은 수많은(중/저궤도) 위성을 이용한 GMPCS(Global Mobile Personal Communication by Satellite) 위성 단독 서비스에서 위성 단독망의 단점을 보완하기 위해, 서로 다른 주파수 대역을 이용하는 위성(정지궤도)/지상 듀얼 모드로 발전하였고, 향후 유럽과 북미를 중심으로 위성(정지궤도)과 지상이 동일 대역을 이용하는 단일 모드의 겸용 방식으로 발전하고 있다<sup>[1]</sup>.

모바일 광대역 서비스 제공에 있어서, 개인 휴대 위성 이동 통신 시스템은 도서 및 지역적으로 고립된 환경, 해양지역, 그리고 유무선 네트워크의 용량 부족으로 모바일 서비스가 현재 어려운 나라에서 모바일 서비스의 빠른 개시 및 제공을 위한 수단으로 활용될 수 있다. 또한, 이러한 위성 통신 시스템에 지상망 도입은 다양한 서비스 시장 창출 및 보다 광대역의 서비스 제공을 가능하게 하여 위성 통신 서비스 활성화 및 시장 확대를 가능하게 한다. 여기서 지상망은 위성 시스템의 제어 아래, 위성 부문이 사용하는 주파수 대역의 일부 또는 전체를 재사용하여 위성

서비스를 보완한다. 이와 같이 위성망뿐만 아니라, 위성 주파수를 지상에서 재이용하는 지상망도 함께 이용하는 방식을 위성/지상 겸용 통신이라 정의한다.

위성/지상 겸용 방식은 음영 지역을 최소화하여 모든 지역에서 원활한 이동 통신 서비스 제공이 가능한 장점이 있으며, [그림 1]과 같이 겸용 방식에는 위성망으로 모든 지역을 커버하고, 고층 건물 등 위성 음영 지역을 지상망으로 보조하는 위성망 중심(지상망 보조) 방식과 지상망으로 모든 지역을 커버하고, 산악, 벽오지 등 지상 음영 지역은 위성망으로 보조하는 지상망 중심(위성망 보조) 방식이 있다.

또한 위성/지상 겸용 방식은 위성과 지상망이 같은 주파수를 재사용하기 때문에 주파수를 효율적으로 이용하기 위한 위성과 지상 간 서비스 정의 및 주파수 재사용 방안이 마련되어야 하며<sup>[2]</sup>, 위성망과 지



[그림 1] 위성/지상 겸용 방식

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음[12-911-01-201, 지상이동통신을 위한 2.1 GHz 위성주파수 대역 최적 활용 기술 개발].

상망 간에 발생하는 시스템 내 간섭을 완화할 수 있는 기술들이 필수적으로 고려되어야 한다<sup>[3]</sup>. 이와 함께 위성 주파수에서 효율적인 위성/지상 겸용 활용을 위해서는 평상시 위성에는 적은 주파수 대역을 할당하고, 비상시에는 많은 주파수 대역을 위성에 효율적으로 할당할 수 있게 하는 위성/지상 무선 인터페이스 기술의 고려가 필수적이다. 또한, 별도의 위성 단말이 아닌 기존 지상 스마트폰과 유사한 크기 및 비용의 겸용 단말 구현을 위해서는 위성과 지상 무선인터페이스 간에 최대한 공통성을 유지하는 것이 중요하다.

따라서 본 논문에서는 모바일 트래픽 급증을 해결하기 위해 현재 및 미래 지상 이동 통신 기술로 고려되는 지상 LTE 기술과 최대한 공통성을 가지면서 대역폭 할당에 유연성을 가지는 차세대 위성 휴대 통신 기술인 SAT-OFDM(Satellite-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술의 특징 및 성능, 그리고 SAT-OFDM에 포함되어 있는 차세대 위성 특화 핵심 기술을 제시하고자 한다.

## II. SAT-OFDM 기술 특징

ITU-R(International Telecommunication Union-Radio sector)의 위성 IMT-Advanced 후보 기술로 한국에서 제안하여 2014년 초 IMT-Advanced 위성 무선 인터페이스 기술로 최종 채택된 ITU-R 권고 M.2047 SAT-OFDM 기술은 지상 IMT OFDM 방식 기반의 3GPP LTE 및 LTE-Advanced와 최대한 공통성을 가지면서 호환성을 유지하고 있다<sup>[4]</sup>. ITU-R에서는 차세대 개인 휴대 위성 통신 기술의 요구사항으로 비용 효율적인 단말 구현을 위해 차세대 지상 이동 통신 기술과의 호환성 및 최대한의 공통성 유지를 요구하고 있다. <표 1>은 지상 LTE 기술과 공통성을 가지는 SAT-OFDM 특징을 보여준다.

### 2-1 다중 접속 방식 및 프레임 구조

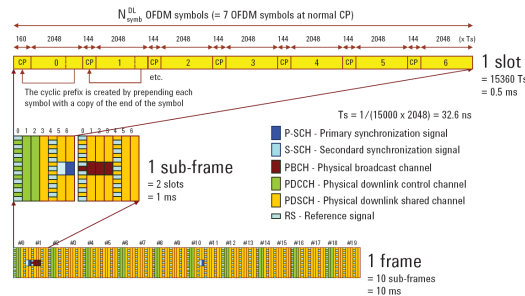
<표 1> SAT-OFDM 기술 주요 특징

다중 접속 방식	OFDMA(하향), SC-FDMA(상향)
이중화 방식	FDD(Frequency Division Duplex)
샘플링율	A multiple or submultiple of 3.84 Msps
부 반송파 간격	15 kHz
반송파 간격	1.3, 3, 5, 10, 15, 20 MHz
프레임 길이	10 ms
동기 방식	비동기 방식(빔 경계 성능 향상을 위해 동기 방식 적용 가능)
Multi-rate/Variable-rate scheme	다양한 변조/부호화를 적용 가능
채널 부호화 방식	길쌈 부호(제어 채널용) 터보 부호(데이터 채널용)

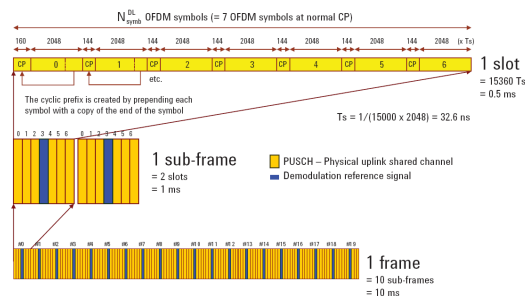
SAT-OFDM은 지상 LTE 기술과 최대한 공통성을 유지하기 위해, 하향 링크의 경우, 자원 할당 유연성이 높은 OFDMA 방식을 적용하고, 상향 링크에서는 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 특성이 좋은 SC-FDMA(Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) 방식을 적용한다.

[그림 2]와 [그림 3]은 각각 20 MHz 대역폭을 가지는 SAT-OFDM의 하향 링크 및 상향 링크 프레임 구조를 보여준다. 위성 시스템의 경우, 긴 왕복 지연 시간으로 인하여 TDD(Time Division Duplex) 구현이 어렵기 때문에 SAT-OFDM 기술에는 3GPP LTE 프레임 구조 중 FDD 모드만 적용한다. [그림 2]와 [그림 3]과 같이 SAT-OFDM의 시간-주파수 자원은 10 ms의 무선 프레임(Radio frame)으로 구분된다. 10 ms의 무선 프레임은 10개의 1 ms 길이를 갖는 부 프레임(Subframe)으로 구분되고, 1개의 부 프레임은 2개의 0.5 ms 길이를 갖는 슬롯(Slot)으로 구분된다. 하나의 슬롯은 시간축 상에서 7개 혹은 6개의 심벌로 구성되는데, normal Cyclic Prefix(CP)의 경우에는 7개의 심벌을

포함하고, extended CP의 경우에는 6개의 심벌을 포함한다. [그림 2]와 [그림 3]은 normal CP의 경우에 해당한다. CP는 OFDM 심벌 간 간섭을 방지하기 위해 각각의 심벌 앞부분에 채널의 최대 지연 확산보다 길게 삽입되는 보호 구간이다. 또한, SAT-OFDM 기술은 유연한 대역폭 할당을 지원하기 위해 지상 LTE 기술과 같이 주파수 영역에서 RB(Resource Block) 단위로 자원 할당이 가능하며, 하나의 반송파는 최소 6개에서 최대 110개의 RB에 해당하는 대역폭을 지원할 수 있다. 하나의 RB는 주파수상에서 12개의 부반송파(Subcarrier)를 포함하고, 시간상에서는 normal CP(Cyclic Prefix)인지 extended CP인지에 따라 7개 혹은 6개의 심벌을 포함한다. 하나의 부반송파는 15 kHz의 대역폭 크기를 가지며, 하나의 RB는 180 kHz의 크기를 갖는다.



[그림 2] 하향 링크 프레임 구조



[그림 3] 상향 링크 프레임 구조

## 2-2 SAT-OFDM 물리계층 채널

[그림 2]과 [그림 3]에서 볼 수 있듯이 SAT-OFDM은 지상 LTE에서 지원하고 있는 모든 상·하향 링크의 물리계층 채널들을 지원하고 있으며, 이는 다음과 같다.

### • 하향 링크

- (1) 물리계층 채널: 사용자 데이터, 제어 정보 전송
  - PDSCH(Physical Downlink Shared Channel)
  - PMCH(Physical Multicast Channel)
  - PDCCH(Physical Downlink Control Channel)
  - PBCH(Physical Broadcast Channel)
  - PCFICH(Physical Control Format Indicator Channel)
  - PHICH(Physical Hybrid ARQ Indicator Channel)
- (2) 물리계층 신호: 셀 동기, 채널 추정, 복조 등을 위해 전송
  - RS(Reference Signal)
  - SCH(Synchronization signal)

### • 상향 링크

- (1) 물리계층 채널: 사용자 데이터, 제어 정보 전송
  - PUSCH(Physical Uplink Shared Channel)
  - PUCCH(Physical Uplink Control Channel)
  - PRACH(Physical Random Access Channel)
- (2) 물리계층 신호: 채널 추정, 복조 등을 위해 전송
  - RS(Reference Signal)

## 2-3 SAT-OFDM 상·하향 링크 전송 구조

[그림 4]는 SAT-OFDM 상향 링크 전송 구조를 보여준다. 상위 계층에서 전달되는 전송 블록에 오류 검출을 위해 24비트 길이를 갖는 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 추가한 후, 채널 부호화를 위한 부호 블록 크기로 전송 블록을 나눈 후, 데이터 채널의 경우, 부호화율 1/3을 갖는 터보 부호를 적용한다. 부호화율 1/3로 부호화된 부호화 블록은 각 사용자의 채널 상황에 맞는 변조 및 부호화율을 적용하기 위



[그림 4] 상향 링크 전송 구조

해 Rate matching 단계를 거친 후, 각 사용자에게 할당된 RB 크기에 맞게 각 부호화 블록들을 연결한다. 연결된 각 부호화 블록들은 단일반송파 특성을 갖도록 DFT(Discrete Fourier Transform) 단계를 거치게 된다. MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술을 적용할 경우, DFT 단계 전에 layer 매핑 및 Precoding 단계를 거친다. DFT 단계를 거친 신호는 각 사용자에게 할당된 RB에 매핑된 후 IDFT를 거쳐 시간축 신호로 변환한 후, CP를 추가하여 송신된다. SAT-OFDM 하향 링크 또한, DFT 수행 단계를 제외하고, 상향 링크와 같은 전송 구조를 가진다. 하향 링크의 경우, OFDMA 방식을 적용하고 있기 때문에 DFT 단계가 고려되지 않는다.

### Ⅲ. 위성 환경에서 지상 LTE 제약 사항

앞에서 언급한 바와 같이 SAT-OFDM 기술은 지상 LTE와 최대한의 공통성을 가지면서 호환성을 가지도록 설계하였다. 그러나 개인 휴대 위성 이동 통신 환경을 고려했을 때, 기존 3GPP LTE는 다음과 같은 제약사항을 갖는다.

- 셀 커버리지: 지상 LTE에서는 100 km 이내의 셀 환경에서 시스템이 동작하도록 설계되었다. 이는 셀 내의 각 단말과 기지국 간의 왕복 지연시간 차이가 0.72 ms에 해당한다. 따라서 지상 LTE 기술을 바탕으로 위성 환경에서 동작하기 위해서는 단말과 위성 간 왕복 지연 시간 차이가 0.72 ms 이내의 위성 빔 크기를 위성 시스템을 가져야 하며, 이는 33° 양각에서 동작하는 GEO(Geostationary Earth Orbit) 기반 개인 휴대 위성 통신 시스템을 고려할 경우, 최대 150 km에 해당한다. 그러나 현재 구현 가능한 위성 안테나 크기 및 개인 휴대 위성 통신용 주파수 대역(L 또는 S대역)을 고려했을 때 최소 200 km 정도의 위성 빔 크기를 지원할 수 있도록 기술이 필요하다.
- 왕복 지연 시간: GEO 기반 개인 휴대 위성 통신 시스템은 bent-pipe 위성을 고려했을 때, 약 540 ms의 왕복 지연 시간을 갖는다. 이러한 긴 왕복 지연 시간으로 인해 지상 LTE에서 성능 향상 및 고속 데이터 전송을 위해 적용하고 있는 많은 페루프 기반 기술들(예: 전력 제어, 적응형 변복조, H-ARQ (Hybrid-Automatic Repeat reQuest), 페루프 MIMO 등)을 위성 환경에 적용하기 어렵다. 또한 540 ms의 긴 왕복 지연 시간으로 인해 지상 LTE에서 최대 0.67 ms의 왕복 지연 시간을 고려하여 설계된 상향 링크-하향 링크 프레임 타이밍 관계 또한 변경이 필요하다.
- 하향 링크 비선형 왜곡: 지상 LTE 하향 링크에서 고려되는 OFDMA 방식은 PAPR 이 높은 특징이

있다. 지상 LTE 기지국의 경우, 고성능 전력 증폭기 사용이 가능하기 때문에 높은 PAPR 특성이 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 위성 시스템의 경우, 지상과 같은 고성능의 위성 전력 증폭기 사용에 어려움이 있어 PAPR 특성으로 인한 신호의 비선형 왜곡에 민감하기 때문에 하향 링크 성능 저하 원인이 될 수 있다.

- 시간 및 주파수축 선택성: 지상 LTE는 다이버시티 이득(시간 및 주파수 다이버시티, 다중 사용자 다이버시티 등)으로 인해 시간 및 주파수 선택적 채널 환경에서 많은 이점이 있다. 그러나 개인 휴대 위성 통신 시스템의 경우, 일반적으로 가시거리 (Line of Sight) 환경에서 동작하기 때문에 주파수 비선택적 채널 특성을 갖는다. 따라서 지상 LTE에 적용하고 있는 다양한 다이버시티 기법들의 이득이 위성 통신에서는 미비할 수 있기 때문에 성능 향상을 위한 다른 기법들의 고려가 필요하다.
- RB 대역폭: 지상 LTE에서 최소 자원 할당 단위인 RB는 주파수 축에서 15 kHz 크기를 갖는 12개의 부반송파로 구성되어 있으며, 총 180 kHz의 크기를 갖는다. 이는 전력 제한적인 위성 시스템 및 최대 전력이 제한된 개인 휴대 단말의 상향 링크를 고려했을 때, 하나의 부반송파에 충분한 링크 마진을 확보할 수 없기 때문에 RB 대역폭을 줄일 필요가 있다.

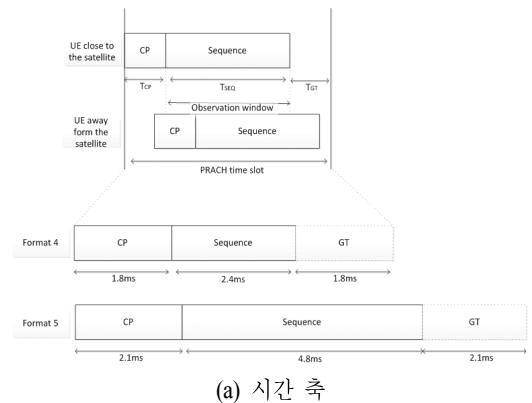
#### IV. SAT-OFDM 위성 특화 기술

이번 장에서는 3장에서 언급한 지상 LTE의 위성 환경에서의 제약 사항을 극복하기 위해 SAT-OFDM 위성 무선 인터페이스에서 적용하고 있는 위성 특화 기술들을 소개하고자 한다.

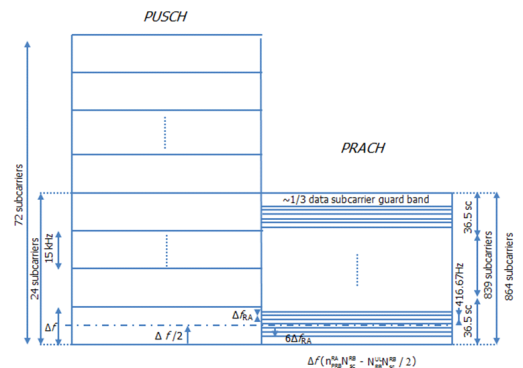
##### 4.1 PRACH 프리엠블 설계

GEO 기반 개인 휴대 위성 통신 시스템에서 200 km

이상의 위성 빔 크기를 지원하기 위해서 SAT-OFDM에서는 [그림 5]와 같은 새로운 PRACH 프리엠블 포맷을 정의하고 있다. [그림 5] (a)에서 보듯이 Format 4의 경우, 시간축에서 1.8 ms에 해당하는 위성과 단말 간 왕복 지연 시간 차이를 지원할 수 있기 때문에, 33° 양각에서 동작하는 GEO 기반 위성시스템을 고려했을 때, 약 380 km 크기의 위성 빔을 지원할 수 있다. Format 5의 경우, 약 450 km 크기의 위성 빔을 지원할 수 있으며, Format 4에 비해 프리엠블 시퀀스 길이가 2배이므로 보다 낮은 SNR(Signal-to-Noise Ratio)에서 동작할 수 있다. 반면, [그림 5] (b)에서 보듯이 SAT-OFDM에서 새롭게 정의된 Format 4, Format 5의 PRACH 프리엠블들은 주파수축에서 기존 지상 LTE



(a) 시간 축



(b) 주파수 축

[그림 5] 새로운 PRACH 프리엠블 구조

PRACH 프리앰블이 차지하고 있는 대역폭의 1/3 대역폭만을 점유하기 때문에 나머지 2/3에 해당하는 대역폭은 데이터 전송을 위해 사용할 수 있는 이점이 있다. 또한, SAT-OFDM에서 정의된 새로운 PRACH 프리앰블 시퀀스는 지상 LTE와의 최대한 공통성을 유지하기 위해 지상 LTE 시퀀스를 재사용한다.

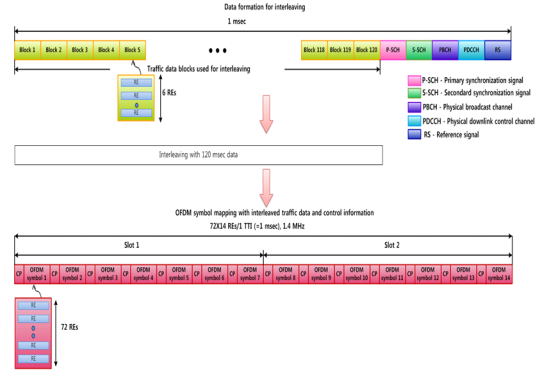
#### 4.2 효율적 AMC 동작을 위한 긴 시간 인터리버

GEO 기반 개인 휴대 위성 통신 시스템에서는 540 ms에 해당하는 긴 왕복 지연 시간으로 인해 빠른 채널 변화에 대처하기가 용이하지 않다. 따라서 적응형 변복조(AMC: Adaptive Modulation and Coding) 기법을 적용하는데 어려움이 있다. 이에 따라 SAT-OFDM에서는 빠른 시간 채널 변화를 긴 시간 인터리버를 통해 보상함으로써 적응형 변복조 기법이 느린 시간 채널 변화에 효율적으로 동작하게 한다.

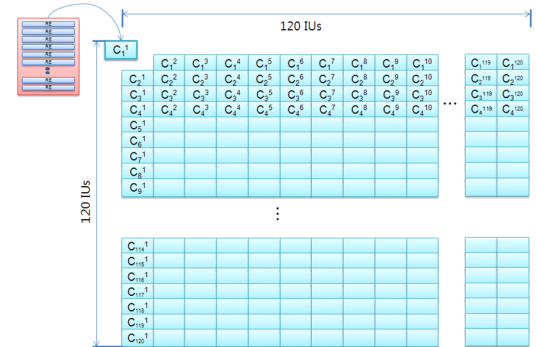
[그림 6]은 이러한 빠른 시간 채널 변화를 보상하기 위한 120 ms 길이를 가지는 긴 시간 인터리버 구조를 보여준다. 하나의 사용자에게 6개의 RB 즉, 1.4 MHz 대역폭에 해당하는 자원을 할당할 경우를 가정하였다. 1 ms 길이를 갖는 하나의 부호어(Codeword)는 인터리빙을 하는 기본 단위인 IU(Interleaving Unit)에 해당하는 120개의 블록으로 나뉜다. 이와 같이 1개의 부호어로부터 생성된 120개의 IU들은 120 ms 길이를 가지는 긴 시간 인터리버를 통해 인터리빙된 후, OFDM 심벌에 매핑된다. 즉, 지상 LTE에서 하나의 부호어가 1 ms 길이 이내에 전송되는데 반해, SAT-OFDM에서는 긴 시간 인터리버를 통해 120 ms 길이에서 하나의 부호어를 전송할 수 있기 때문에, 빠른 채널 변화를 인터리빙 다이버시티 이득을 통해 보상하고, 남아 있는 느린 채널 변화는 AMC 기법을 통해 효율적으로 보상할 수 있다.

#### 4.3 협대역 상향 링크 전송

[그림 7]은 전력 제한적인 개인 휴대 위성 통신 상



(a) 긴 시간 인터리빙 과정



(b) Convolutional 인터리버

[그림 6] 긴 시간 인터리버 구조

향 링크에서 보다 많은 링크 마진을 확보하기 위해 SAT-OFDM에서 정의하고 있는 협대역 전송을 보여준다. [그림 7] (a)에서 보듯이, 지상 LTE RB 구조는 시간 축에서 0.5 ms 길이의 2개의 슬롯에 해당하는 1 ms 길이를, 주파수 축에서 15 kHz 대역폭의 12개 부반송파에 해당하는 180 kHz의 크기를 갖는다. 각 슬롯은 7개의 OFDM 심벌로 이루어져 있고, 그 중 가운데 OFDM 심벌 1개는 채널 추정 및 복조를 위한 RS (Reference Signal)로 사용되며, 나머지 6개의 OFDM 심벌은 데이터 전송을 위해 사용된다. 이 경우, 12개의 부반송파에 단말 전력을 나누어 전송해야 하기 때문에, 하나의 부반송파에 할당되는 전력 제한으로 인해 휴대 단말의 경우, 충분한 링크 마진을 확보할 수



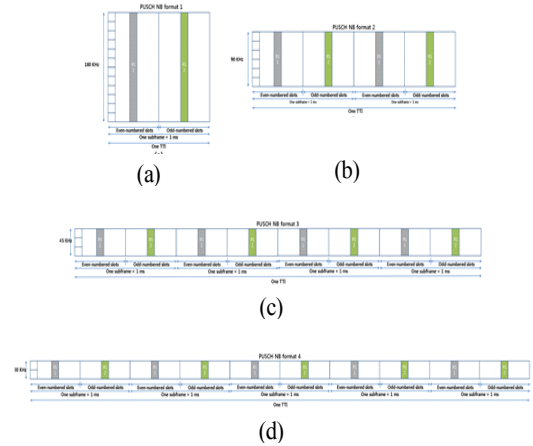
없다.

따라서 SAT-OFDM에서는 하나의 부 반송파에 더 많은 전력을 할당하기 위해 지상 LTE보다 적은 부 반송파 수를 가지는 RB들을 정의한다. [그림 7] (b)는 6개의 부 반송파로 구성되는 SAT-OFDM 상향 링크 RB 구조를 보여준다. 지상 LTE에 비해 절반의 부 반송파로 구성되어 있기 때문에 하나의 부 반송파에 2배 많은 전력을 할당할 수 있어 3 dB 링크 마진을 더 확보할 수 있는 장점이 있다.

반면, SAT-OFDM은 지상 LTE와 최대한의 공통성을 유지하기 위해 지상 LTE 상위 계층에서 전송되는 전송 블록을 그대로 사용하는데, 이를 위해서는 SAT-OFDM 협대역 RB의 시간 축 길이는 주파수 축에서 지상 LTE에 비해 RB 크기를 줄인 비율만큼 시간 축에서 증가시켜야 한다. 이런 이유로 [그림 7] (b)에서 보듯이, 6개의 부반송파로 구성된 SAT-OFDM 협대역용 RB는 2 ms의 길이를 갖는다. 같은 원리로 [그림 7] (c), [그림 7] (d)에서와 같이, 주파수 축에서 3개, 2개의 부 반송파로 이루어진 협대역용 RB의 경우, 시간 축에서 각각 4 ms, 6 ms를 갖게 된다. 이와 같이 지상 LTE에 비해 시간 축에서 길이가 긴 SAT-OFDM 협대역용 RB들은 주파수 비선택적이고 시간 선택적인 위성 채널 환경을 고려했을 때, 지상 LTE RB 구조에 비해 시간 다이버시티 이득 또한 얻을 수 있는 이점이 있다. [그림 7]에서 보듯이, RS 또한 시간 다이버시티 이득을 얻기 위해 지상 LTE의 첫 번째 슬롯 RS 1과 두 번째 슬롯 RS 2를 교차하여 협대역용 RS로 사용한다.

#### 4.4 낮은 PAPR 갖는 하향 링크 전송

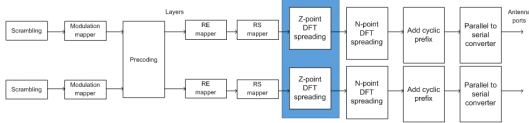
OFDMA 방식을 적용하고 있는 지상 LTE 하향 링크의 높은 PAPR 특성으로 인해 위성 시스템에서는 위성 전력 증폭기의 비선형성으로 인한 성능 열화가 있을 수 있다. 이를 고려하여 SAT-OFDM에서는 하향 링크에서 OFDMA 방식과 함께 SC-FDMA 방식을



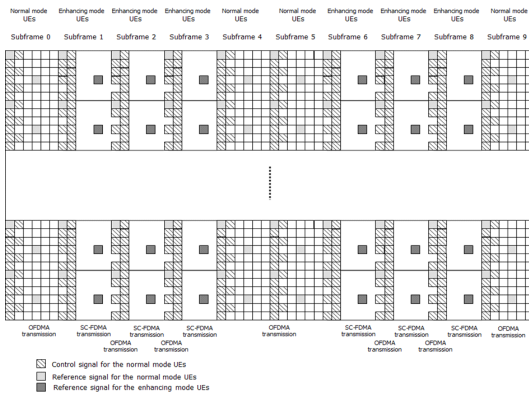
[그림 7] 협대역용 RB 구조

함께 정의하고 있다. OFDMA 방식은 지상 LTE 칩셋을 가지고 동작하는 개인 휴대 위성 단말을 위해 적용되며, SC-FDMA는 성능 향상을 위해 지상 LTE 칩셋을 조금 변경한 새로운 칩셋을 가지고 동작하는 개인 휴대 위성 단말을 위해 적용된다.

[그림 8] (a)는 SC-FDMA가 적용된 하향 링크 전송 구조를 보여준다. 지상 3GPP LTE 하향 링크 전송 구조와 비교하여 단일반송파 특성을 가지는 신호를 생성하기 위해 Z-point DFT spreading 단계가 추가되었다. 여기서 Z의 크기는 데이터와 RS를 위해 사용되는 부반송파 개수에 따라  $2 \cdot 3 \cdot 5$ 의 배수로 결정된다. 지상 LTE 칩셋에 상향 링크 SC-FDMA를 구현하기 위해 이미 DFT spreading 블록이 포함되어 있기 때문에, 지상 LTE 칩셋의 많은 변경 없이 하향 링크에서 SC-FDMA 구현이 가능하다. [그림 8] (b)는 OFDMA 방식과 SC-FDMA 방식을 SAT-OFDM에서 동시에 지원하기 위한 프레임 구조를 보여준다. 그림에서 0, 4, 5, 9번 부 프레임들은 모든 단말들이 수신해야 하는 동기 채널, 페이징 정보, ACK/NACK 정보들이 전송되기 때문에, 지상 LTE 칩셋을 가지고 동작하는 단말들도 수신할 수 있도록 OFDMA 전송을 위해 사용되어야 한다. 0, 4, 5, 9번 부프레임 이외에 나머지 부프



(a) SC-FDMA 기반 하향 링크 전송 구조



(b) OFDMA/SC-FDMA 동시 지원 하향 링크 프레임 구조

[그림 8] 낮은 PAPR 특성을 갖는 하향 링크 전송 구조

레이들의 경우, SC-FDMA 전송을 위해 사용될 수 있다. 기존 OFDMA 방식으로 통신하는 단말들이 SC-FDMA 전송용 부 프레임을 수신하지 않도록 기존 단말들에게는 PBCH 물리채널을 통해 MBSFN 부 프레임으로 인식하도록 하는 정보를 준다. PBCH 물리채널을 통해 MBSFN 부 프레임 정보를 수신한 OFDMA 방식 기반 단말은 그 부 프레임들을 수신하지 않고, SC-FDMA 방식 기반 단말은 그 프레임을 SC-FDMA 용 부 프레임으로 인식하고 수신하게 된다.

SC-FDMA 전송을 위해 사용되는 부 프레임 수는 SC-FDMA 방식으로 통신하는 단말 수를 고려하여 위성 기지국이 결정할 수 있다.

#### 4.5 기타 위성 특화 기술들

앞에서 언급한 위성 특화 기술들 이외에도 SAT-OFDM은 위성의 긴 왕복 지연 시간, 느린 위성 채널 특성, 전력 제한적인 상향 링크 환경, 큰 빔 커버리

지 등과 같은 개인 휴대 위성 통신 환경을 고려하여 다음과 같은 위성 특화 기술들을 추가한다.

- 긴 왕복 지연 시간을 고려한 하향 링크-상향 링크 타이밍 관계 설정: 긴 왕복 지연 시간 및 위성과 단말들 간의 긴 왕복 지연 시간 차이를 고려한 효율적 자원 할당을 통한 상·하향 링크 타이밍 관계 설정
- 단말에 할당할 수 있는 최소 RB 수 수정: 전력 제한적인 위성 환경을 고려하여 반송파 대역폭 뿐만 아니라, 단말 형태 또한 고려하여 최소 할당 RB 수 결정
- 전력 제어와의 결합을 통한 효율적 AMC 기법 적용: 단말과 위성 간 긴 왕복 지연 시간 동안 채널 변화로 인한 AMC 성능 열화를 방지하기 위해 CQI (Channel Quality Indicator) 비트 중의 일부를 전력 제어용으로 사용하여 채널 변화 보상을 통해 위성 환경에서 AMC 성능 향상
- 부분 주파수 재사용: 빔 중앙 지역에서는 모든 부 반송파를 재사용하고, 빔 경계 지역에서는 빔 간 다른 부반송파 그룹을 사용함으로써 지상 이동 통신과 유사하게 주파수 재사용 1 기반의 다중 빔 위성 통신 시스템 구현. 이를 위해 빔 중앙 지역 단말과 빔 경계 지역 단말은 TDMA(Time Division Multiple Access)로 구분
- 빔 협력 전송: 빔 경계 지역 단말들의 성능 향상을 위해 인접 빔들이 협력하여 빔 경계 지역 단말 신호 전송. 인접 빔들 간에 CDD(Cyclic Delay Diversity) 기반의 신호 전송을 통해 주파수 선택적 신호를 생성함으로써 주파수 다이버시티 이득을 추가로 얻을 수 있음.
- GPS(Global Positioning System) 기반의 임의 접속 절차: GPS를 통해 위치를 알 수 있는 단말의 경우, 위치에 따라 사용할 수 있는 PRACH 프리엠블 시퀀스 그룹을 사용하여 자신의 위치를 위성 기지국에 알림과 동시에 위치에 따라 적절히 임의



접속을 시도함에 따라 기존 LTE 칩셋을 이용한 지상 LTE 임의 접속 절차를 그대로 재사용할 수 있음.

- LTE의 Carrier Aggregation을 고려한 HARQ 재전송 기술: Carrier Aggregation이 적용되는 반송파들 사이의 HARQ 피드백 결과가 다를 경우, 상위 계층 순서와 HARQ 재전송에 따른 평균 이득 값과 새로운 반송파로 전송했을 때의 이득 값을 비교하여 전송되는 반송파를 변경함으로써 반송파들 사이의 채널 환경이 크게 다름으로 인해 생길 수 있는 상위 계층 패킷 지연 시간을 줄임.
- 채널 예측과 지연 시간 보상 기법을 결합한 페루프 상향 링크의 전력 제어: 상향 링크 SRS(Sounding Reference Signal)을 통해 왕복 지연 시간 후의 채널 변화를 예측하고, 예측된 채널 값을 기반으로 생성된 TPC(Transmit Power Command) 값과 과거 TPC 값을 바탕으로 저복잡도 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 이용하여 지연 보상 전력 값을 결정함으로써 긴 왕복 지연 시간으로 인한 전력 제어 오류 방지
- 멀티 채널 HARQ 패킷 수신을 위한 메모리 관리: 지상 LTE의 경우, 짧은 왕복 지연 시간으로 인해 8채널 HARQ 사용하나, GEO 기반 위성 시스템의 경우, 최소 500개 이상의 채널이 필요하지만, 수신기의 메모리를 임시 메모리와 저장 메모리로 구분하여 저장 메모리의 상태 정보를 피드백함에 따라 지상 LTE에 비해 매우 많은 메모리를 필요로 하지 않으면서 멀티채널 HARQ 지원 가능

## V. SAT-OFDM 성능 평가

SAT-OFDM 성능 분석을 위한 위성 및 단말 특성은 각각 <표 2> 및 <표 3>과 같다. 2 GHz 대역에서 동작하는 25 m급 대형 안테나를 탑재한 GEO 위성을 고려하였으며, 단말의 경우, ITU-R 위성 IMT-Advanced 성능 평가 방법론에 따라 지상 IMT에서 고려하는 단

<표 2> 위성 특성

빔 수		20
하향 링크	주파수(MHz)	2,170~2,200
	Polarization	LHCP 또는 RHCP
	반송파당 EIRP(dBW)	73
	반송파 대역폭(MHz)	5
	주파수 재사용	6
상향 링크	주파수(MHz)	1,980~2,010
	Polarization	LHCP 또는 RHCP
	G/T(dB)	23.5
	반송파 대역폭(MHz)	5 MHz

<표 3> 단말 특성

단말 형태		최대 전력 (안테나 이득)	G/T
3G Hand held	Class 1	2 W(0 dBi)	-24.6 dB/K
	Class 2	500 mW(0 dBi)	
	Class 3	250 mW(0 dBi)	
Portable		2 W(2 dBi)	-21 dB/K
Vehicular		8 W(4 dBi)	-20 dB/K
Transportable		2 W(14 dBi)	-9 dB/K

말 형태를 모두 고려하였다<sup>[5]</sup>. 링크 및 시스템 레벨 모의 실험을 위해 위성 채널 모델은 ITU-R의 위성 IMT-Advanced 성능 평가 방법론에 정의된 Fontan's 채널 모델을 사용하였다<sup>[5]</sup>.

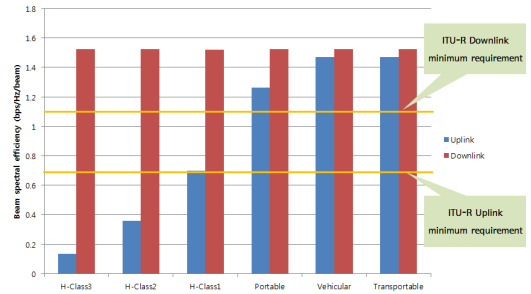
또한, 성능 평가를 위한 위성 시스템 구성 파라미터는 <표 4>와 같이 가정하였다. 180 km 빔 크기를 가지는 20개의 빔에서 주파수 재사용 6을 사용하는 다중 빔 위성 시스템을 고려하였으며, 위성과 단말 간에는 Open 채널 환경을 가정하였다. 시스템 레벨 모의 실험의 경우, 단말은 전 커버리지 지역에서 균

〈표 4〉 평가 구성 파라미터

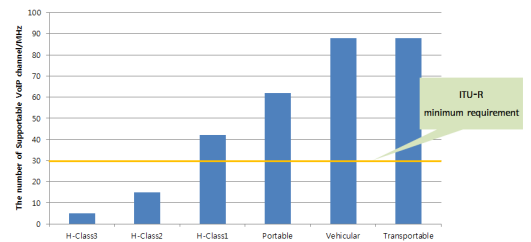
Deployment 시나리오	Open 환경, GEO 위성
이중화 방식 및 대역폭	FDD: 5(상향) + 5(하향) MHz
반송파 주파수	2.1 GHz
주파수 재사용 계획	주파수 재사용 지수 6
빔 수	20
전송 방식	SISO(Single Input Single Output)
상향 링크 스케줄러	채널 상황에 따른 스케줄링
상향 링크 전력 제어	최대 전력 전송
상향 링크 HARQ	Incremental redundancy 또는 chase combining, VoIP의 경우, 적용 안 함.
상향 링크 수신기 형태	MMSE
위성 안테나 패턴	권고 ITU-R M.672-4
위성 전송 전력	5 MHz 대역에서 23 dBW
채널 추정	복조 RS 및 SRS의 추정 오류 반영
피드백 제어 채널 오류	고려 안 함.
HARQ/ARQ 상호작용	Full buffer traffic에 대해 반영
MAC/RLC 헤더 오버헤드	규격 최소 크기 고려

일하게 분포하고 있으며, 3 km/h의 속도로 움직이고 있다고 가정하였다.

이를 바탕으로 [그림 9]와 [그림 10]은 SAT-OFDM 기술을 기반으로 한 다중 빔 개인 휴대 위성 통신 시스템의 평균 빔 주파수 효율과 VoIP 용량에 대한 시스템 레벨 모의 실험 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 SAT-OFDM 기술은 Handheld Class-3 단말 형태부터 ITU-R에서 정의하고 있는 위성 IMT-Advanced



[그림 9] 평균 빔 주파수 효율(bps/Hz/Beam)



[그림 10] VoIP 용량(채널 수/MHz)

기술 요구사항을 만족함을 알 수 있다. Handheld Class-1과 Class-2 단말 형태의 경우, 최대 전력 제한으로 충분한 링크 마진을 확보하지 못해 위성 IMT-Advanced 기술 요구사항을 만족하지 못함을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 모의 실험 결과는 보여주지는 않지만, Handheld Class-1과 Class-2 단말 형태 또한, 본 논문의 4장에서 언급하고 있는 SAT-OFDM 위성 특화 기술을 적용할 경우, 특히 상향 링크 협대역 전송 기술을 적용할 경우, ITU-R 위성 IMT-Advanced 기술 요구사항을 만족할 수 있다<sup>[6]</sup>.

이와 같이 SAT-OFDM 기술은 위성 IMT-Advanced 후보 기술로 ITU-R에 제안되어, ITU-R에서 정의하고 있는 위성 IMT-Advanced 평가 방법론에 따라 성능 평가를 완료하여 위성 IMT-Advanced 기술로 최종 채택되었고, 현재 IMT-Advanced 위성 무선 인터페이스 세부 규격에 관한 권고 ITU-R M.2047에 위성 IMT-Advanced 규격 중 하나로 포함되었다<sup>[7]</sup>.

## VI. 결 론

본 논문에서는 차세대 위성 휴대 통신 기술로 고려되고 있는 SAT-OFDM의 특징 및 핵심 기술을 살펴보고, GEO 기반 다중 빔 위성 시스템 환경에서 성능 분석 결과를 보였다. 본 논문에서 살펴본 SAT-OFDM 기술은 모바일 트래픽 급증에 대비하여 현재 및 미래 지상 이동 통신 기술로 고려되고 있는 지상 LTE 기술과 최대한 공통성을 가지면서 대역폭 할당에 유연성을 가지기 때문에 차세대 위성/지상 겸용 시스템의 위성 전송 기술로 고려될 수 있으며, 비용 효율적인 위성/지상 겸용 단말 구현에 용이한 차세대 위성 전송 기술이라 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김희욱, 강군석, 장대익, "2.1 GHz 위성주파수 활용 기술 동향", ETRI 전자통신동향분석, 통권147호, 29 (3), pp. 85-98, 2014년 6월.
- [2] 강군석, 홍대철, 김희욱, 구본준, 장대익, "위성/지상 겸용망에서 위성 업링크 간섭 분석", 통신위성우주산업연구논문지, 9(1), pp. 107-114, 2014년 3월.
- [3] U. Park, H. W. Kim, D. S. Oh, and B. J. Ku, "Interference-limited dynamic resource management for an integrated satellite-terrestrial system", *ETRI Journal*, Aug. 2014.
- [4] Recommendation ITU-R M.2047, "Detailed specifications of the satellite radio interface of International Mobile Telecommunications-Advanced(IMT-Advanced)", *ITU-R*, Dec. 2013.
- [5] Report ITU-R M.2176-1, "Vision and requirements for the satellite radio interface(s) of IMT-Advanced".
- [6] H. W. Kim, T. H. Hong, K. Kang, and B. J. Ku, "A satellite radio interface compatible with terrestrial 3GPP LTE system", *PSATS2013 Conference*, pp. 162-173, May 2013.
- [7] Report ITU-R M.2279, "Outcome of the evaluation, consensus building and decision of the IMT-Advanced satellite process(Steps 4 to 7), including characteristics of IMT-Advanced satellite radio interface", *ITU-R*, Sep. 2012.

≡ 필자소개 ≡

김 희 욱



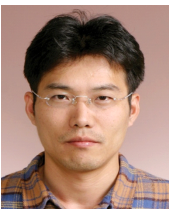
2001년 8월: 고려대학교 전기전자전파  
공학부 (공학사)

2004년 2월: 한국과학기술원 전기및전  
자공학과 (공학석사)

2004년 3월~현재: 한국전자통신연구원  
선임연구원

[주 관심분야] 이동 위성 통신, 위성/지상  
검용 통신, MIMO, 협력 통신, 간섭 완화

강 군 석



1997년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공  
학사)

1999년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공  
학석사)

1999년 3월~현재: 한국전자통신연구원  
책임연구원

[주 관심분야] 이동 위성 통신, 이동 통  
신, 간섭 분석

장 대 익



1985년: 한양대학교 전자통신공학과 (공  
학사)

1989년: 한양대학교 전자통신공학과 (공  
학석사)

1999년: 충남대학교 전자공학과 (공학  
박사)

1991~1993 : 캐나다 MPR Teltech 연  
구소 연구원

2011~2012: 한국과학기술원 초빙교수(전일제)

2005~현재: UST 연합대학원 이동통신및디지털방송공학 전  
공책임교수

1990년~현재: 한국전자통신연구원 위성휴대방송통신연구실  
실장

[주 관심분야] 디지털 통신, 위성 방송 통신 시스템, 위성 모뎀