

# 스펙트럼 효율 향상을 위한 CPP-OFDM (Cyclic Prefix and Postfix) 시스템의 설계와 성능 평가

안창영\*, 유흥균<sup>o</sup>

## Design and Performance Evaluation of CPP-OFDM (Cyclic Prefix and Postfix) System for Spectral Efficiency Improvement

Changyoung An\*, Heung-Gyoon Ryu<sup>o</sup>

### 요약

본 논문에서는 기존 CP(Cyclic Prefix)-OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템의 높은 OOB (Out-of-Band) 전력 문제를 해결하여 스펙트럼 효율을 향상시킬 수 있는 CPP(Cyclic Prefix and Postfix)-OFDM 시스템을 제안한다. CPP-OFDM 시스템에서 Cyclic Prefix와 Postfix를 합친 시간 길이는 CP-OFDM의 CP 길이와 같으며, 이 시스템은 시간 자원의 추가적인 소모 없이 Windowing을 수행하여 OOB 전력을 저감시킬 수 있다. 시뮬레이션의 결과로, 제안하는 CPP-OFDM 시스템의 경우 윈도우 길이가 16, 32, 64, 128일 때 각각 -78dB, -88dB, -100dB, -110dB의 OOB 전력을 갖는 것을 확인할 수 있다. 더욱이, 제안하는 시스템은 DFT Window Sliding을 사용하여 다중경로 환경에서도 ISI 영향을 효과적으로 억압하여 BER 성능을 확보할 수 있다. 즉, CPP-OFDM 시스템은 기존 CP-OFDM의 장점을 그대로 간직하면서, OOB 특성을 대폭 개선시킴으로써 스펙트럼 효율을 향상시킬 수 있다.

**Key Words** : CP-OFDM, CPP-OFDM, OOB power, windowing, 5G

### ABSTRACT

In this paper, we propose a CPP(Cyclic Prefix and Postfix)-OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system which can solve a high OOB(Out-of-Band) power problem of conventional CP(Cyclic Prefix)-OFDM system. The proposed CPP-OFDM system can effectively reduce OOB power by using windowing technique without wasting of additional time resources. As simulation results, the proposed CPP-OFDM system has OOB power of -78dB, -88dB, -100dB, and -110dB when window length of the system is 16, 32, 64, and 128 respectively. Additionally, the proposed CPP-OFDM system can effectively suppress ISI effect by using DFT(Discrete Fourier Transform) window sliding technique over multipath environment. That is, the proposed system can secure effective BER(Bit Error Rate) performance over multipath environment. That is, this proposed CPP-OFDM system does not only keeps the all advantages of the conventional CP-OFDM but also improve the spectrum efficiency by sharpening the OOB spectrum.

\* 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016R1D1A1B01008046).

• First Author : Department of electronic engineering, Chungbuk National University, acy890217@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : Department of electronic engineering, Chungbuk National University, ecomm@cbu.ac.kr, 정회원  
논문번호 : KICS2017-09-242, Received September 7, 2017; Revised November 10, 2017; Accepted November 13, 2017

## I. 서 론

현재, 새로운 멀티미디어 서비스 및 콘텐츠에 대한 요구와 함께 다양한 모바일 단말기가 등장하고 있으며, 그 수가 급격히 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. 이는 무선 트래픽의 급격 증가를 야기한다. 따라서 높은 수준의 채널 용량을 갖는 무선 통신 시스템이 요구된다. 그러나 현재의 이동통신 시스템은 이를 감당하기 어렵다<sup>[2]</sup>. 이로 인하여 더욱 높은 채널 용량을 갖는 차세대 이동통신에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

현재 4세대 이동통신 시스템은 CP(Cyclic Prefix)-OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템을 기반으로 한다. CP-OFDM 시스템은 다중 반송파 시스템으로, 다수의 직교 부반송파에 다수의 데이터 심볼을 맵핑하여 전송하는 방식이다. 특히, 송신기에 CP(Cyclic Prefix)를 추가하여, 무선 채널환경에서 발생할 수 있는 ISI(Inter-Symbol Interference)를 효과적으로 완화한다. 이로 인해, 수신기에서 수신 신호를 등화 할 때, 저 복잡도의 등화기를 이용하여 고속 등화를 수행할 수 있다. 이로 인하여 고속 데이터 송수신이 가능해진다. 그러나 4세대의 이동통신 시스템은 차세대 멀티미디어 서비스 및 단말기로부터 발생하는 높은 트래픽을 감당하기 어렵다. 따라서 더욱 높은 채널 용량을 지원하는 5세대 이동통신 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.

5세대 이동통신 시스템에 대한 연구는 다양한 계층에서 이루어지고 있으나, 본 논문에서는 물리계층에 대한 기술에 초점을 둔다. 5세대 이동통신 시스템을 위한 물리계층의 연구에서는 새로운 변조 기술에 대한 연구가 세계적으로 주목을 받으며 활발히 이루어지고 있다<sup>[3,4]</sup>. 이와 같은 새로운 변조 기술에 대한 연구는 주파수 효율을 높여 채널 용량을 근본적으로 향상시키는 것을 목표로 하고 있다. 주파수 효율을 증가시키기 위해서 송신 신호의 스펙트럼 특성을 향상시키기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다<sup>[5]</sup>. 이러한 연구는 스펙트럼의 OOB(Out-of-Band) 전력을 저감시키는 방향으로 연구가 수행되고 있다.

초기 5세대 이동통신 시스템을 위한 후보 변조 기술로는 F-OFDM(Filtered-OFDM), UFMC(Universal Filtered Multi-Carrier), FBMC(Filter Bank Multi-Carrier) 시스템 등이 큰 주목을 받았다<sup>[6-9]</sup>. 이와 같은 기술들은 기존 CP-OFDM 시스템에 비하여 OOB 전력을 매우 효과적으로 저감시킨다. 특히, FBMC 시스템의 경우, F-OFDM, UFMC 시스템과

비교 할 때, 가장 높은 OOB 저감 성능을 보인다. 그러나 FBMC 시스템은 높은 복잡도를 갖으며, 기존 4세대 이동통신 시스템과의 하위호환 및 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술과의 결합이 어려운 단점이 있다. UFMC 시스템의 경우, 송신기에서 서브밴드별 iDFT 연산 및 수신기에서 부반송파 개수의 2배에 해당하는 크기의 DFT 연산을 해야 함으로 인해 높은 시스템 복잡도를 갖으며, CP를 사용하지 않음으로 인하여 다중 경로 환경에서 ISI 문제를 야기시킬 수 있다. 마지막으로 F-OFDM 시스템의 경우, Convolution 연산을 이용하여 필터링을 수행하는데 있어 높은 복잡도를 갖으며, 필터링시에 왜곡된 위상 정보를 부가적으로 전치 처리해야 한다. 특히, 부반송파 사이에 보호 구간을 삽입해야 하며, 이는 기존에 사용된 주파수 영역의 정규적인 자원 할당 구조를 위반하는 문제점을 갖는다.

CP-OFDM을 기본으로 하여, F-OFDM, UFMC, FBMC 시스템들이 갖는 이와 같은 문제점으로 인하여, 최근에는 복잡도가 낮은 Windowing을 사용하는 OFDM 기술에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. Windowing은 곱셈 연산을 이용하여 간단한 처리만으로 OOB 전력 저감이 가능하다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 추가적인 시간영역의 확장을 한 후, Windowing을 하는 구조로 되어있어 시간 자원의 손실이 발생하게 된다. 즉, 동일한 데이터를 전송하는데 더 긴 심볼을 사용하게 될 경우, OOB 저감으로 인한 주파수 효율 개선 효과가 약화될 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 CPP(Cyclic Prefix and Postfix)-OFDM 시스템을 제안하고, 평가 및 분석한다. 이 시스템은 기존 CP-OFDM 시스템에서 사용하는 Cyclic Prefix의 절반을 Cyclic Postfix로 나누어 할당한다. 그 후 이 Cyclic Prefix와 Postfix 부분을 Windowing 하여 OOB를 저감시킨다. 이렇게 될 경우 추가적인 시간 자원의 손실이 발생하지 않으면서, 낮은 복잡도로 OOB 전력을 효과적으로 저감시킬 수 있다. 본 논문에서는 제안하는 CPP-OFDM 시스템을 설계하며, 스펙트럼 특성 및 다중경로 환경에서의 BER 성능을 평가한다. 그러므로 CPP-OFDM 시스템은 기존 CP-OFDM의 장점을 그대로 간직하면서, OOB 특성을 대폭 개선시킴으로써 스펙트럼 효율을 향상시킨 시스템이다.

본 논문에서는 II장에서 기존 CP-OFDM 시스템을 살펴보고, III장에서 제안하는 CPP-OFDM 시스템의 설계방법을 제시한다. 그리고 IV장에서 시뮬레이션

결과를 보이며, V장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 CP-OFDM 시스템

CP-OFDM 시스템은 다수의 직교 부반송파를 이용하여 데이터 심볼을 전송하는 시스템이다<sup>10)</sup>. 단일 반송파 시스템에 비하여, 다수 부반송파를 사용하게 될 경우 주파수 선택적 채널(Frequency Selective Channel) 환경을 평탄 페이딩 채널(Flat Fading Channel) 환경으로 바꿀 수 있으며, 특히, 데이터 심볼 간 보호 구간인 CP를 추가함으로써, 다중경로 채널 환경에서 심볼간의 간섭인 ISI 영향을 제거하여, 수신기에서는 복잡도가 낮은 단일 탭의 등화기를 이용하여, 수신 신호를 복원할 수 있다<sup>10)</sup>. 이와 같은 수신기 처리의 간소화로 인하여 고속 송수신이 가능하게 된다. 이와 같은 장점으로 인하여 단일 반송파를 사용하는 3세대 이동통신 시스템과는 다르게 더욱 빠른 4세대 이동통신 시스템에서는 CP-OFDM 시스템이 핵심 기술로 자리 잡게 되었다. 그러나 5세대 이동통신 시스템은 보다 높은 KPIs(Key Performance Indicators)를 요구한다. 이와 같은 KPIs를 만족시키기 위해서는 CP-OFDM 시스템의 개선이 요구된다. CP-OFDM 시스템은 높은 OOB 전력을 가지므로, 주파수 스펙트럼 간에 보호 대역이 요구된다. 특히, 다중 반송파 시스템이 갖는 높은 PAPR 특성으로 인하여 비선형 HPA 등을 통한 왜곡이 발생할 경우 OOB 전력은 더욱 상승하게 된다. 이러한 특성으로 인하여, CP-OFDM 시스템은 스펙트럼 마스크를 충족시키기 위하여 최외각 부반송파들을 할당하지 않는다. 이와 같은 보호 대역과 할당하지 않는 부반송파들은 주파수 효율을 저감시키게 된다. 5세대 이동통신 시스템에서는 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여, 필터링 및 Windowing을 사용하여 OOB 전력을 저감시키게 된다.

그림 1은 기존 CP-OFDM 시스템의 블록도를 나타

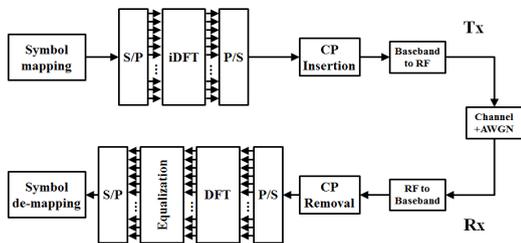


그림 1. CP-OFDM 시스템의 구성도.  
Fig. 1. Block diagram of CP-OFDM system.

낸다. 송신기에서, 다수의 데이터 심볼들은 iDFT(inverse Discrete Fourier Transform) 연산을 통해 다수의 부반송파에 맵핑된다. 그 다음, 신호의 연속성을 유지 하는 CP를 추가하여 심볼간 보호 구간을 구성한다. 수신기에서는, CP를 제거하고, DFT(Discrete Fourier Transform) 연산을 이용하여 다수의 부반송파에 맵핑된 데이터 심볼을 추출한다. 그 다음 단일 탭의 저 복잡도 등화기를 이용하여 수신 신호를 복원한다.

### 2.2 CP-OFDM 시스템의 특성

그림 2는 CP-OFDM 시스템의 심볼 구조를 나타낸다. CP-OFDM 시스템에서 CP의 길이는 일반적으로 다중경로 채널환경에서 최대 지연시간을 기반으로 결정한다. 따라서 CP 할당 길이는 다양한 통신 전송 규격에 따라 달라진다. 본 논문에서는 제안하는 CPP-OFDM 시스템과 비교할 CP-OFDM 시스템의 CP 길이를  $N/4$ 로 고려하였다. 기존의 CP-OFDM 시스템은 일반적으로 사각 윈도우를 사용한다. 즉, CP-OFDM 시스템은 그림 3과 같은 스펙트럼 특성을 보인다. CP-OFDM 시스템은 약 -30dB에 이르는 OOB 전력 특성을 보인다. 이와 같은 높은 OOB 전력을 저감시키기 위하여 본 논문에서는 Windowing 기법을 사용하는 새로운 시스템을 제안한다.

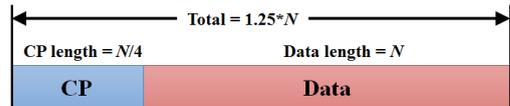


그림 2. CP-OFDM 시스템의 심볼 구조.  
Fig. 2. Symbol structure of CP-OFDM system.

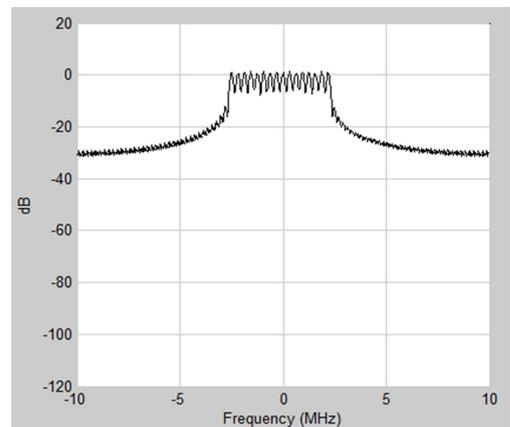


그림 3. CP-OFDM 시스템의 스펙트럼.  
Fig. 3. Spectrum of CP-OFDM system.

### III. 제안하는 CPP-OFDM 시스템

#### 3.1 제안하는 시스템 모델

제안하는 CPP-OFDM 시스템은 기존 CP-OFDM 시스템과 같은 다중 반송파 시스템이다. CPP-OFDM 시스템은 Cyclic Prefix와 Cyclic Postfix를 사용하며, Cyclic Prefix와 Cyclic Postfix 부분은 Windowing을 수행하여 인접 심볼 간 연속성을 향상시키며, OOB 전력을 저감시키게 된다. Cyclic Postfix를 사용하는 OFDM 시스템은 이미 많은 연구가 이루어 졌다. Cyclic Postfix는 OFDM의 심볼 뒤에 연속되는 신호를 붙여 넣음으로써 생성할 수 있다<sup>[11]</sup>. CPP-OFDM 시스템은 복잡한 Convolution 연산을 사용하는 필터링 기술이 아닌 저 복잡도의 곱셈 연산을 이용하는 Windowing 기술을 사용하여 OOB 전력을 저감시킨다.

그림 4는 제안하는 CPP-OFDM 시스템의 블록도를 나타낸다. 우선 송신기를 보면, 다수의 데이터 심볼이 iDFT 연산을 통해 다수의 부반송파에 맵핑된다. 그 다음 Cyclic Prefix와 Cyclic Postfix가 추가된다. 그 다음 CPP 부분을 Windowing 하여 OOB 전력을 저감시킨다. 수신기에서는 DFT 연산을 수행하기 전, DFT Window Sliding을 통해 최적의 데이터 심볼 구간을 설정한다. CPP-OFDM 시스템의 경우 기존 CP-OFDM 시스템에 비하여 Cyclic Prefix의 길이가 절반이기 때문에 먼저 전송한 인접 심볼이 지연될 경우 Cyclic Prefix 부분 이상에 간섭을 일으킬 수 있다. 이때, 간섭이 들어오지 않는 부분을 선택하여 데이터 심볼을 추출하기 위하여 DFT Window Sliding을 수행하게 된다. DFT Window Sliding에서는 채널 환경을 추정한 후, 다중경로의 최장 지연 시간을 계산하여 Sliding 구간을 설정하게 된다. 그 다음, DFT 연산을 통해 다수의 부반송파에 맵핑된 데이터 심볼을 추출하고, 단일 탭 등화기를 이용하여 데이터 심볼을 복원한다.

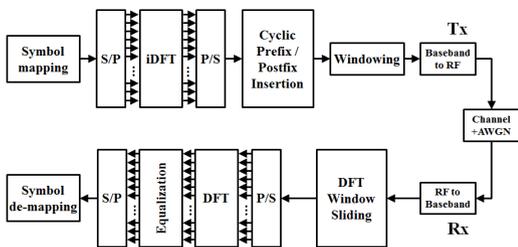


그림 4. 제안하는 CPP-OFDM 시스템의 구성도.  
Fig. 4. Block diagram of the proposed OFDM system.

#### 3.2 전송 심볼 구조

그림 5는 제안하는 CPP-OFDM 시스템의 심볼 구조를 나타낸다. CPP-OFDM 시스템의 경우 전체 심볼의 길이는 CP-OFDM 시스템과 같다. CPP-OFDM 시스템은 기존 CP-OFDM 시스템의 CP길이의 절반에 해당하는 Cyclic Prefix와 Cyclic Postfix를 사용한다. 즉, 기존의 CP-OFDM 시스템이 DFT 크기의 1/4에 해당하는 CP를 사용하였다면, CPP-OFDM 시스템의 경우, DFT 크기의 1/8에 해당하는 Cyclic Prefix와 Cyclic Postfix를 각각 사용하게 된다. Cyclic Prefix는 iDFT 연산 후의 데이터 신호 중 뒤에서부터 일부분을 복사하여 맨 앞에 붙여 생성하며, Cyclic Postfix는 iDFT 연산 후의 데이터 신호 중 앞에서부터 일부분을 복사하여 데이터 신호의 뒤에 붙여 생성한다. CPP-OFDM 시스템은 이 CPP 구간을 Windowing 하여, OOB 전력을 저감시킨다. 여기에서는 시간 영역의 확장이 없으며, 심볼의 데이터 구간을 왜곡시키지 않는 장점을 확인할 수 있다. CPP 구간의 윈도우잉은 Cyclic Prefix 부분과 Cyclic PostFix 부분은 양 끝단이 0으로 수렴하며, 데이터부분은 크기가 1인 윈도우 함수를 이용하여 윈도우잉 한다. CPP 부분의 윈도우잉에는 Hann, Hamming, Blackman 윈도우 등 다양한 방법을 적용할 수 있다. CP-OFDM의 심볼 양단에 추가적인 확장을 하여 윈도우잉을 수행하면 OOB 전력을 낮출 수 있지만, 시간영역의 자원이 낭비되는 것과 달리, 제안하는 시스템은 CP-OFDM 심볼 길이와 같은 심볼 길이를 갖기 때문에 시간영역의 손실이 없다.

그러나, CPP-OFDM 시스템의 심볼 구조를 보면, Cyclic Prefix의 길이가 기존 CP-OFDM 시스템에 비하여 절반으로 줄었기 때문에 다중경로 환경에서 인접 심볼의 간섭이 Data 영역으로 침범되어 들어올 가능성이 있다.

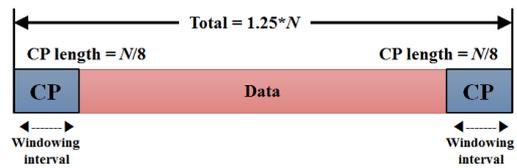


그림 5. CPP-OFDM 시스템의 심볼 구조.  
Fig. 5. Symbol structure of CPP-OFDM system.

#### 3.3 DFT Window Sliding 기법

기존 CP-OFDM 시스템의 경우 CP를 이용하여 OFDM 데이터 심볼간 보호 구간을 형성하여, 다중경로에 의해 발생하는 인접 심볼간 간섭을 효과적으로

극복하였다. 그림 6은 다중경로 환경에서 기존 CP-OFDM 시스템의 수신 신호 특성을 나타낸다.

그림 6은 다중경로 환경에 의해 송신된 CP-OFDM 시스템의 심볼이 경로 별로 지연되어 수신되는 것을 보여준다. CP-OFDM 시스템은 다중경로에 의해 심볼의 지연이 일어나도 심볼간 보호 구간인 CP가 존재하여, 수신기에서 DFT Window 영역에 인접 심볼의 간섭 신호가 영향을 주지 않음을 확인할 수 있다. 이로 인하여 수신기에서는 각각의 심볼에 대한 단일 탭의 등화를 수행하여 데이터를 고속 송수신할 수 있다.

그림 7은 다중경로 환경에서 제안하는 CPP-OFDM 시스템의 수신 신호 특성을 나타낸다. 그림 7. (a)는 CPP-OFDM 시스템에서 DFT Window Sliding 기법을 수행하지 않았을 경우 발생할 수 있는 ISI 현상을 나타낸다. CPP-OFDM 시스템의 심볼은 Cyclic Prefix 구간이 기존 CP-OFDM 시스템에 비하여 절반

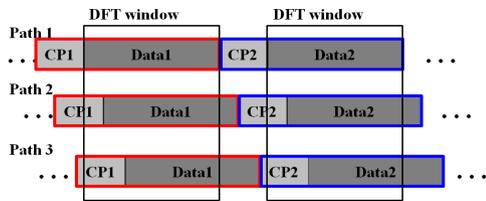
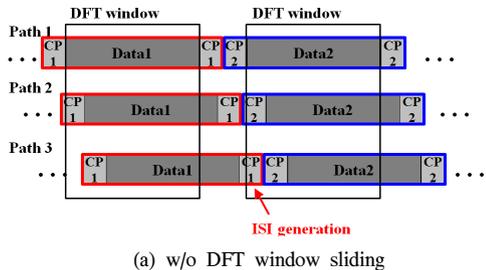
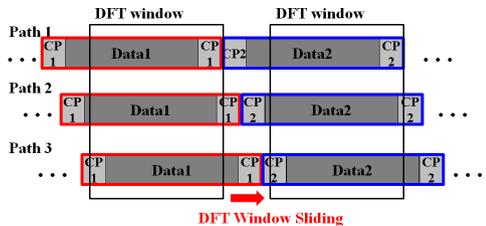


그림 6. 다중경로 환경에서 CP-OFDM 시스템의 수신 신호  
Fig. 6. Received signal of CP-OFDM system over multipath environment.



(a) w/o DFT window sliding



(b) w/ DFT window sliding

그림 7. 다중경로 환경에서 CPP-OFDM 시스템의 수신 신호  
Fig. 7. Received signal of CPP-OFDM system over multipath environment.

으로 줄기 때문에, 다중경로 환경에 의한 지연된 인접 심볼에 의해 간섭 영향을 받을 수 있다. CPP-OFDM 시스템의 수신기에서 그림 7. (a)와 같이 DFT Window Sliding 기법을 사용하지 않을 경우, CP-OFDM 시스템의 수신기와 동작이 동일하다. 이러한 환경에서는 ISI으로 인하여 시스템의 성능 열화가 발생할 가능성이 있음을 확인할 수 있다. 따라서 이와 같은 문제점의 극복을 위해서 CPP-OFDM 시스템은 그림 7. (b)와 같은 DFT Window Sliding 기법을 사용하며, 수신기에서 DFT Window를 Cyclic Postfix 방향으로 이동시켜 ISI 영향을 제거할 수 있다. 이와 같은 DFT Window Sliding 기법을 사용하는 CPP-OFDM 시스템의 경우, OOB 전력 저감을 위해서 복잡도의 Windowing 기법을 사용하며, Windowing을 위한 시간영역의 확장이 없기 때문에, 시간 자원을 낭비하지 않는다. 더욱이 Windowing 구간이 CPP 구간으로 한정되기 때문에 데이터 심볼 구간이 Windowing으로 인해 왜곡되지 않게 된다. 추가로, 다중경로 환경에서도 채널 추정을 통해, DFT Window를 이동시켜 ISI 영향을 제거하여 기존 CP-OFDM 시스템과 같이 저 복잡도의 단일 탭 등화기를 사용할 수 있는 장점이 있다.

#### IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 제안하는 CPP-OFDM 시스템의 스펙트럼 특성 및 BER 성능을 평가하기 위하여 표 1과 같은 시뮬레이션 환경을 구성하였다. CPP-OFDM 시스템에서 기본 데이터 심볼은 QAM 변조를 고려하였다. 본 논문에서는 10Mhz 대역폭을 사용하는

표 1. 시뮬레이션 환경  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Modulation	QAM
# of total subcarrier	1024
# of used subcarrier	601
# of null subcarrier	423
CPP length	Cyclic Prefix = 128 Cyclic Postfix = 128
Length of each symbol	DFT size + CPP length = 1024+256 = 1280
Window function	Hann
Window length	16, 32, 64, 128
Channel	Multipath fading channel (Max. delay = 150 samples)

LTE(Long-Term Evolution) 표준을 고려하여 DFT 크기 및 사용 부반송파 및 비 할당 부반송파 수를 결정하였다. DFT 크기는 1024를 고려하였으며, 이 중 제로 DC 부분을 포함하여 비할당 부반송파의 개수는 423개로 설정하였다. 즉, 601개의 부반송파를 사용하였다. CPP-OFDM 시스템에서 OOB 전력 저감을 위한 Windowing 기법을 위해 Ham 함수를 사용하였다. 그리고 Cyclic Prefix와 Cyclic Postfix쪽에 각각 16, 32, 64, 128의 윈도우 길이를 고려하여 Windowing을 수행하였다. 추가로 다중경로 채널 환경에서 BER 성능 분석을 위해 다중경로 환경을 고려하였으며, 최대 지연 경로의 지연 구간을 150 샘플로 고려하였다.

그림 9는 윈도우 길이에 따른 CPP-OFDM 시스템의 스펙트럼 특성을 나타낸다. CPP 구간에 적용되는 윈도우 길이가 길수록 OOB 전력 저감 효과가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 윈도우 길이가 CPP에 각각 128일 경우 약 -110dB의 OOB 전력 저감 효과가 있으며, 윈도우 길이가 16일 경우 약 -78dB의 OOB 전력 저감 효과가 있다. 기존 CP-OFDM 시스템의 OOB 전력은 약 -30dB이다<sup>6)</sup>. 이를 고려하였을 때, CPP-OFDM 시스템의 OOB 전력은 매우 효과적으로 저감된 것을 확인할 수 있다. 표 2는

표 2. CPP-OFDM 시스템에서 윈도우 길이에 따른 OOB 전력  
Table 2. OOB power according to windowing length in CPP-OFDM system

Windowing length	16	32	64	128
OOB power	-78dB	-88dB	-100dB	-110dB

CPP-OFDM 시스템에서 윈도우 길이에 따른 OOB 전력 크기를 표로 정리한 것이다.

그림 10은 다중경로 채널 환경에서 CPP-OFDM 시스템이 DFT Window Sliding 기법을 사용하지 않았을 경우의 BER 성능을 나타낸다. DFT Window Sliding을 사용하지 않을 경우, 즉, 기존 CP-OFDM 시스템과 같은 수신기를 사용할 경우에는 이전 심볼의 지연에 의한 ISI 영향으로, 단일 탭의 등화를 수행하여도 간섭 영향이 제거되지 않아 BER 성능이 열화되는 것을 확인할 수 있다. 그림 11은 다중경로 채널 환경에서 CPP-OFDM 시스템이 DFT Window Sliding 기법을 사용했을 경우의 BER 성능을 나타낸다.

본 논문에서는 DFT Window를 20에서 100까지 이동시켰을 때의 BER 성능을 평가하였다. 그림 11. (a), (b), (c), (d)를 보면, DFT Window를 Cyclic Postfix 방향으로 이동시키에 따라 BER 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 이는 ISI가 Cyclic Prefix의 영역을 넘어서서 간섭을 일으키기 때문이다. 따라서 DFT Window를 이동하여 간섭을 피하는 것이 중요하다.

DFT Window를 100만큼 이동시켰을 때, 윈도우

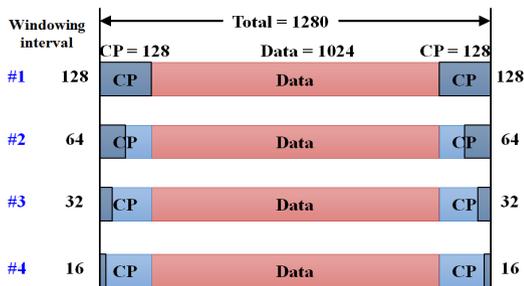


그림 8. CPP-OFDM 시스템의 스펙트럼 특성 평가를 위한 윈도우 길이 설정.  
Fig. 8. Window length setting for spectrum characteristic of CPP-OFDM system.

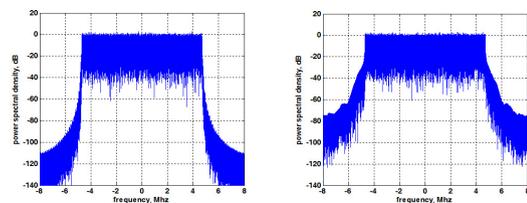


그림 9. 윈도우 길이에 따른 CPP-OFDM 시스템의 스펙트럼 특성.  
Fig. 9. Spectrum characteristic of CPP-OFDM system according to window length.

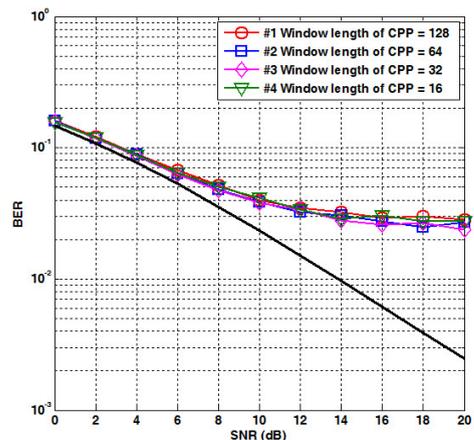


그림 10. DFT Window Sliding 기법을 사용하지 않은 CPP-OFDM 시스템의 BER 성능.  
Fig. 10. BER performance of CPP-OFDM system without DFT window sliding.

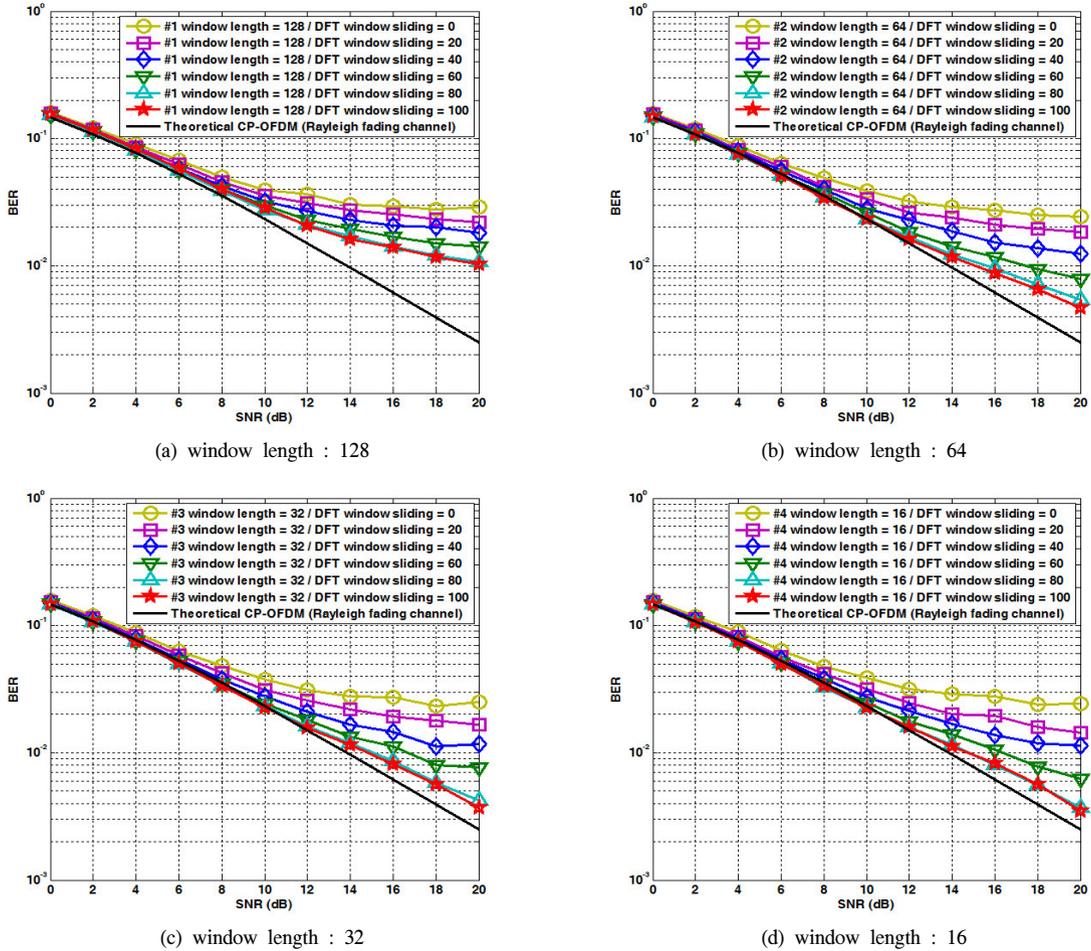


그림 11. DFT Window Sliding 기법을 사용한 CPP-OFDM 시스템의 BER 성능.  
 Fig. 11. BER performance of CPP-OFDM system using DFT window sliding.

길이가 128, 64, 32, 16일 경우, 20dB에서 각각  $10^{-2}$ ,  $5 \times 10^{-3}$ ,  $4 \times 10^{-3}$ ,  $3.5 \times 10^{-3}$ 의 BER 성능을 내는 것을 확인할 수 있다. 그림 11의 (a), (b), (c), (d)를 종합해보면, 윈도우 길이가 짧을수록 DFT Windowing Sliding 기법을 사용하였을 때, BER 성능 열화를 더욱 효과적으로 극복할 수 있음을 확인할 수 있다. 즉, 제안하는 CPP-OFDM 시스템은 스펙트럼 특성과 BER 성능을 모두 고려하였을 때, OOB 전력을 효과적으로 저감시키면서, BER 성능을 확보하기 위해 적절한 윈도우 길이를 선택하는 것이 중요함을 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 5세대 이동통신 시스템을 위한, 주

파수 효율을 향상시킬 수 있는 CPP-OFDM 시스템을 제안한다. 제안된 CPP-OFDM 시스템의 스펙트럼 특성과 BER 성능을 시뮬레이션을 통해 평가 및 분석하였다. 시뮬레이션의 결과를 보면, CPP-OFDM 시스템은 우선 시간영역의 확장 없이 Windowing 기법을 수행하여 OOB 전력을 저감시킬 수 있는 것을 확인할 수 있다. 기존 CP-OFDM 시스템은 약 -30dB의 OOB 전력을 갖는 것을 확인할 수 있으나, 제안하는 CPP-OFDM 시스템의 경우 윈도우 길이가 16, 128일 때 각각 -78dB, -88dB, -100dB, -110dB의 OOB 전력을 갖는 것을 확인할 수 있다. 추가로, 제안하는 CPP-OFDM 시스템은 DFT Window Sliding 기법을 사용하여 다중경로 환경에서도 인접 심볼간의 ISI 영향을 효과적으로 억압할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 CPP-OFDM 시스템은 기존 CP-OFDM

의 장점을 그대로 간직하면서, OOB 특성을 대폭 개선시킴으로써 스펙트럼 효율을 향상시킨 시스템이다.

즉, 스펙트럼 특성과 BER 성능을 종합적으로 고려해 보았을 때, 현재 5세대 이동통신 시스템을 위해 고려되고 있는 후보기술인 F-OFDM, UFMC, FBMC 시스템들과 비교하여, 추가적인 시간자원의 소모 없이 적은 복잡도의 연산을 요구하는 Windowing 기법으로 OOB 전력을 효과적으로 저감시키며, 다중경로 환경에서도 BER 성능을 확보할 수 있으므로 5세대 이동통신 시스템을 위한 후보 기술로 적합하다고 평가할 수 있다.

### References

[1] S. Chen and J. Zhao, "The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 36-43, May 2014.

[2] E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, J. Peisa, J. Sachs, Y. Selén, and J. Sköld, "5G wireless access: requirements and realization," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 12, pp. 42-47, Dec. 2014.

[3] G. Wunder, et al., "5GNOW: non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 97-105, Feb. 2014.

[4] P. Banelli, et al., "Modulation formats and waveforms for the physical layer of 5G wireless networks: Who will be the heir of OFDM?," in arXiv:1407.5947, Jul. 2014.

[5] F. Schaich and T. Wild, "Waveform contenders for 5G - OFDM vs. FBMC vs. UFMC," *ISCCSP*, pp. 457-460, May 2014.

[6] V. Vakilian, T. Wild, F. Schaich, S. ten Brink, and J.-F. Frigon, "Universal-filtered multi-carrier technique for wireless systems beyond LTE," *2013 IEEE GC Wksp*, pp. 223-228, Dec. 2013.

[7] B. Farhang-Boroujeny, "OFDM versus filter bank multicarrier," *IEEE Sign. Process. Mag.*, vol. 28, no. 3, pp. 92-112, May 2011.

[8] W. Chung, B. Kim, M. Choi, H. Nam, H. Yu, S. Choi, and D. Hong, "Synchronization error

in QAM-Based FBMC system," *2014 IEEE MILCOM*, pp. 699-705, Oct. 2014.

[9] M. Mukherjee, L. Shu, V. Kumar, P. Kumar, and R. Matam, "Reduced out-of-band radiation-based filter optimization for UFMC systems in 5G," *IWCWC*, pp. 1150-1155, 24-28 Aug. 2015.

[10] H. Mahmoud, T. Yucek, and H. Arslan, "OFDM for cognitive radio: merits and challenges," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 16, no. 2, pp. 6-15, Apr. 2009.

[11] A. Seirafian and V. T. Vakily, "Timing errors analysis of OFDM systems based on joint Cyclic-prefix and postfix," *Sign. Process. Algorithms, Architectures, Arrangements, and Appl. SPA 2007*, pp. 81-86, Poznan, Poland, 2007.

### 안 창 영 (Changyoung An)



2013년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)  
 2015년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학석사)  
 2015년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 차세대 이동통신시스템, 무선통신시스템, 디지털신호처리

### 유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 : 충북대학교 전자공학과 교수  
 2002년 3월~2004년 2월 : 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장  
 <관심분야> 무선통신시스템, 위성통신, B5G/6G 이동통신시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리