

# 채널 선택형 릴레이 기반 다중 입력 SC-FDMA/OFDMA 전송 시스템<sup>†</sup>

(Channel Selective Relay-based Multiple-Input SC-FDMA/OFDMA Transmission System)

원희철\*, 김순철\*\*

(Hui-Chul Won, Soon-Cheol Kim)

**요약** 중계기를 활용한 다중 입력 기술이 차세대 광대역 무선 이동 통신의 유력한 후보로 연구되고 있다. 본 논문에서는 채널 선택적 중계기 기반의 다중 입력 전송 시스템을 제안한다. 본 전송 시스템은 상하향 전송을 위해 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)와 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식을 각각 채택한다. 단말기와 기지국 간 사용되는 부채널을 고정하고, 중계기와 단말기 또는 중계기와 기지국 사이의 채널 상태에 따라 선택적으로 부채널을 사용함으로써 수신 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 실험 결과를 통해, 제안된 중계기 기반 시스템의 성능이 기존의 중계기 기반 시스템의 성능보다 우수함을 확인한다.

**핵심주제어** : SC-FDMA, OFDMA, 중계기, 다중 입력, 주파수-공간 블록 코딩

**Abstract** Relay-assisted multiple input technique has become a promising candidate for next generation broadband wireless communications. In this paper, we propose channel selective relay-based multiple input transmission system. In the proposed system, single carrier frequency division multiple access (SC-FDMA) and orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) are adopted for uplink and downlink transmissions, respectively. The performance of relay-based system can be improved by using the subcarriers selectively based on the channel condition between relay station (RS) and mobile station, or between RS and base station. Simulation results show that the proposed relay-based system considerably outperforms the conventional relay-based system.

**Key Words** : SC-FDMA, OFDMA, Relay, Multiple Input, SFBC

## 1. 서론

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 다중 반송파 통신 방식은 송수신

구조가 간단하여 주파수 선택적 페이딩 환경에서 구현 상의 복잡도가 크지 않고, 주파수 효율이 높으면서 우수한 성능을 나타내고 있기에 광대역 무선통신 시스템에서 널리 사용되고 있다.

그러나, OFDM은 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 값이 높다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완한 방법 중 하나가 주파수 대역 등화기 기반의 단일 반송파 통신, 즉

<sup>†</sup> 이 논문은 2008학년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(KRF-2008-331-D00347)

\* 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 조교수

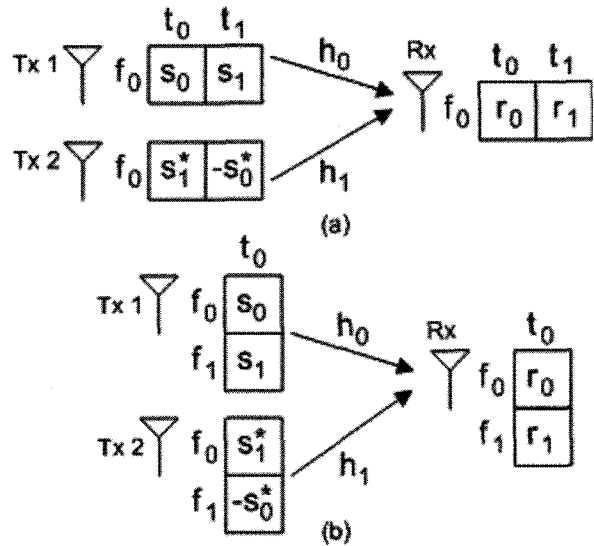
\*\* 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 부교수 (교신저자)

SC-FDE (Single Carrier Frequency Domain Equalizer) 방식이다. SC-FDE는 특히 저속 데이터 전송에서 OFDM과 비슷한 성능과 복잡도를 보이면서도 낮은 PAPR 값을 갖고, 비선형성 전력 증폭기에 덜 민감하다는 장점을 갖는다<sup>[1]-[2]</sup>.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 다중 사용자 접속 방식은 OFDM 시스템의 부반송파들을 다수의 사용자들이 분할하여 자원을 공유하는 방식으로 차세대 이동 통신을 위한 새로운 다중 접속 방식으로 고려되고 있다. 그러나, OFDM에 기반을 둔 OFDMA 방식은 여전히 PAPR 값이 높다는 단점을 가지고 있으며, 이를 대신하여 SC-FDE를 부반송파 분할 방식으로 확장시킨 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 다중 사용자 접속 방식이 제안되었다. 현재, SC-FDMA와 OFDMA 방식은 각각 차세대 이동 통신 시스템의 상향 링크와 하향 링크를 위한 접속 방식으로 거론되며 널리 연구되고 있다<sup>[1]-[5]</sup>.

OFDMA 및 SC-FDMA 시스템에서는 페이딩 채널에서의 성능을 향상시키기 위하여 다양한 형태의 다이버시티 기술을 적용할 수 있다. 특히, 다중 안테나를 이용한 안테나 다이버시티 기술은 낮은 복잡도에 비해 쉽게 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 시공간 블록 부호 (STBC, Space-Time Block Code)와 주파수 공간 블록 부호 (SFBC, Space-Frequency Block Code)는 이론적으로 동일한 성능을 갖는 대표적인 안테나 다이버시티 기술로서, 다중 안테나와 연속적인 전송 심볼 간, 또는 다중 안테나와 연속적인 부채널 간에 블록 코드를 적용함으로써 다이버시티 이득을 취하여 전송 성능을 크게 개선할 수 있다<sup>[6]-[10]</sup>. 다만, 안테나 간 일정 거리를 두어야 하는 다중 안테나 기술은 모바일 기기의 크기와 복잡도 제한에 의하여 적용이 쉽지 않은 상황이다. 이를 해결하기 위하여, 최근에 다중 안테나 대신 중계기 (RS, Relay Station)를 이용한 다이버시티 기술이 제안되었다. 일반적으로 중계기는 셀 커버리지 확대와 음영 지역 해소 등을 위하여 전송 신호를 받아 증폭 후 재전송하는 역할을 담당하였으나, 기지국 (BS, Base

Station)과 단말기 (MS, Mobile Station)와 같이, 단일 안테나를 사용하는 두 통신 기기 간의 다중 경로를 제공하는 역할을 수행할 수 있다<sup>[11]-[13]</sup>.



<그림 1> 송신 안테나 다이버시티 (a) 시공간 블록 부호 (b) 주파수 공간 블록 부호

본 논문에서는 안테나 다이버시티 획득을 위해 중계기를 적용한 광대역 통신 시스템에서, 중계기와 통신 기기 간의 채널을 선택적으로 채택함으로써 전송 성능을 개선하는 방법을 제안한다. 논문의 구성을 살펴보면, 2장에서는 주파수 공간 블록 부호를 통한 안테나 다이버시티에 대하여 설명한다. 3장에서는 중계기를 통해 주파수 공간 블록 부호를 적용한 OFDMA 구조에 대하여 설명하고, 4장에서는 중계기를 통해 주파수 공간 블록 부호를 적용한 SC-FDMA 방식에 대하여 설명한다. 5장에서는 채널 선택적 중계기 운영 방안을 제안하고, 6장에서는 기존 구조와 제안된 구조의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교한 후, 마지막으로 7장에서 결론을 맺는다.

## 2. 주파수 공간 블록 부호

간단하면서 강력한 안테나 다이버시티 기술은 Alamouti에 의해 제안되었다<sup>[6]</sup>. 시공간 블록 부호라 불리는 이 기법은 <그림 1(a)>와 같이, 2

개의 송신 안테나와 연속적인 두 심볼 구간에 걸쳐 직교 블록 부호화를 적용하여 수신 성능을 개선한다. 연속적인 두 심볼 구간에 적용하는 시공간 블록 부호와 달리, 주파수 공간 블록 부호 기법은 <그림 1(b)>와 같이, 2개의 송신 안테나와 이웃하는 두 주파수 대역에 걸쳐 직교 블록 부호화를 적용한다. 두 기법은 이론 상 성능이 동일하다. 다만, 시공간 블록 부호는 연속적인 두 심볼 구간 동안 채널이 변하지 않는다고 가정하기에 시변 환경에서 성능이 저하되고, 주파수 공간 블록 부호는 이웃하는 두 주파수 대역의 채널이 동일하다고 가정하기에 주파수 선택적 환경에서 성능이 저하되는 특징이 있다.

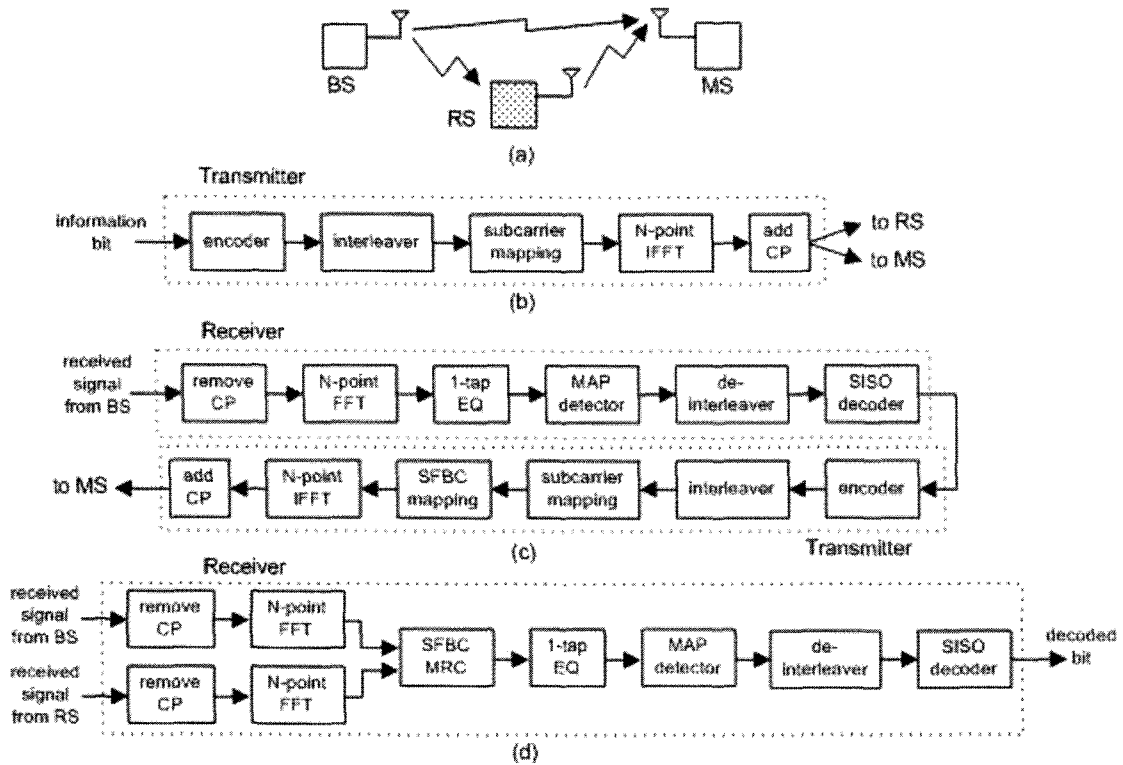
본 논문에서 사용한 주파수 공간 블록 부호의 경우, <그림 1(b)>와 같이, 주파수 대역  $f_0$  과  $f_1$ 에 수신된 신호를 각각  $r_0$ 과  $r_1$ 이라고 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_0 &= s_0 h_0 - s_1^* h_1 + n_0 \\ r_1 &= s_1 h_0 + s_0^* h_1 + n_1 \end{aligned} \quad (1)$$

이 때,  $h_0$ 과  $h_1$ 은 첫 번째 송신 안테나와 수신 안테나 간의 주파수 대역 채널 값과, 두 번째 송신 안테나와 수신 안테나 간의 주파수 대역 채널 값을 각각 의미한다. 또한,  $n_0$ 과  $n_1$ 은 주파수 대역  $f_0$  과  $f_1$ 에서 발생한 백색 잡음을 각각 의미한다. 전송 신호  $s_0$ 과  $s_1$ 에 대한 추정 값은 다음과 같은 결정 과정을 통해 얻어진다.

$$\hat{s}_0 = \frac{h_0^* r_0 + h_1 r_1^*}{|h_0|^2 + |h_1|^2}, \quad \hat{s}_1 = \frac{h_0^* r_1 - h_1 r_0^*}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \quad (2)$$

한편, 식 (2)의 추정 신호  $\hat{s}_0$ 과  $\hat{s}_1$ 을 이론적으로 전개하면 다음과 같이 원 신호 ( $s_0, s_1$ )와 변형된 잡음의 합으로 구성되고, 변형된 잡음에



<그림 2> 하향 전송을 위한 OFDMA 기본 구조 (a) 중계기를 활용한 다이버시티 (b) 기지국 송신기 내부 구조 (c) 중계기 송수신기 내부 구조 (d) 단말기 수신기 내부 구조

의해 원 신호 대비 잡음의 크기가 상대적으로 작아져서 성능이 개선됨을, 즉, 다이버시티 이득이 획득됨을 쉽게 확인할 수 있다<sup>[6]-[7]</sup>.

$$\hat{s}_0 = s_0 + \frac{h_0^* n_0 + h_1^* n_1}{|h_0|^2 + |h_1|^2}, \quad \hat{s}_1 = s_1 + \frac{h_0^* n_1 - h_1^* n_0}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \quad (3)$$

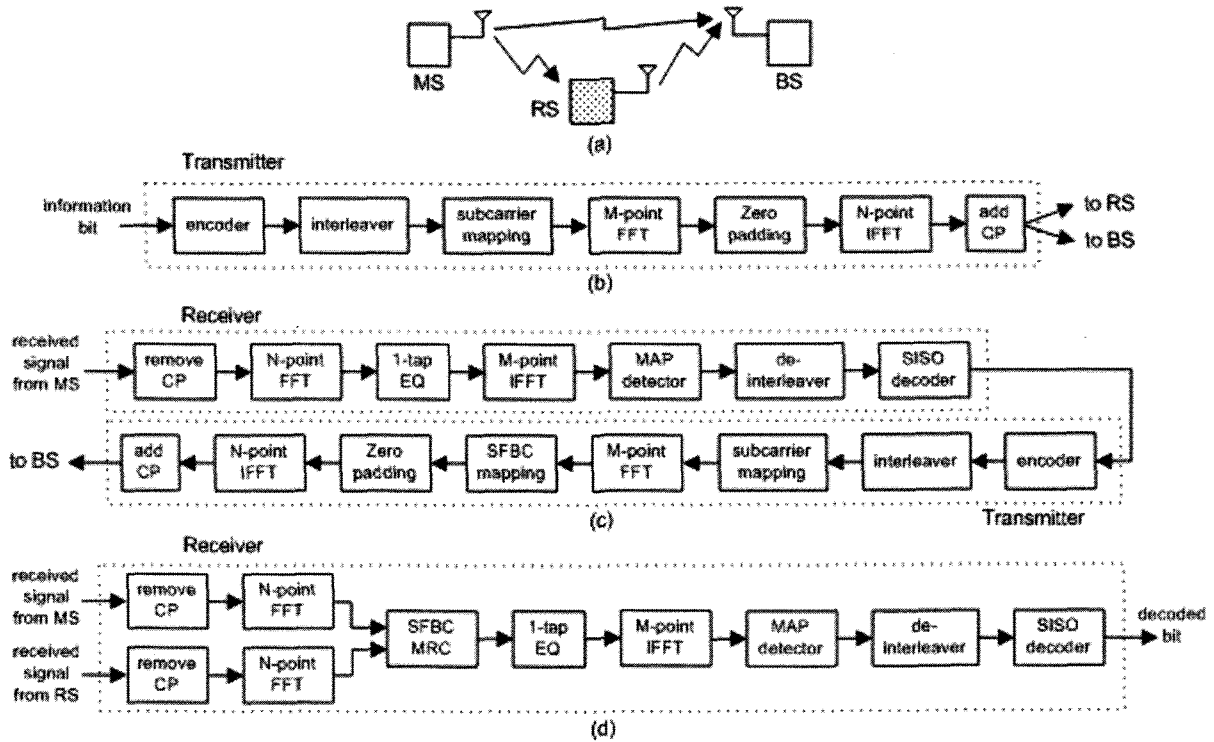
### 3. 중계기를 통한 주파수 공간 블록 부호화 OFDMA 다중 사용자 접속 방식

<그림 2>는 기지국으로부터 단말기로의 하향 전송을 위한 OFDMA 기본 구조를 보여주고 있다. <그림 2(a)>는 다이버시티 이득을 얻기 위해 중계기를 활용하는 시나리오로서, 단말기에서는 기지국에서 전송된 신호 뿐만 아니라, 중계기로부터 중계된 신호를 추가로 수신하여 다이버시티 이득을 획득하게 된다. <그림 2(b)>와 같이, 기지국 송신기에서, 전송 비트 신호는 부호기와 인터리버를 거쳐 부채널 맵핑된 후 N점 역 푸리에 변환 (IFFT, Inverse Fast Fourier Transform)되고, 사이클릭 프리픽스 (CP, Cyclic Prefix) 신호가 추가되어 기지국 송신 안테나를 통해 발송된다. 중계기에서는, <그림 2(c)>와 같이, 기지국으로부터 수신된 신호로부터 사이클릭 프리픽스 신호를 제거하고, N점 푸리에 변환을 통과한 후, 등화기와 MAP 디텍터로 입력된다. MAP 디텍터의 결과로 얻은 신호 비트의 LLR (Log-Likelihood Ratio) 값은 디인터리빙된 후 디코더의 입력으로 사용되어 원 신호가 복원되게 된다. 복원된 신호는 단말기로의 재전송을 위하여, 부호기와 인터리버를 거쳐 부채널 맵핑되고, 안테나 다이버시티 이득 획득을 위하여 주파수 공간 블록 부호화된 후, N점 역 푸리에 변환기를 거쳐 송신된다. 단말기에서는 <그림 2(d)>와 같이, 기지국에서 송신한 신호와 중계기에서 송신한 신호를 각각 N점 푸리에 변환으로 획득한 후, 주파수 공간 블록 부호에 대한 MRC (Maximum Ratio Combining) 과정을 수행하여 안테나 다이버시티 이득을 취하게 된다<sup>[14]</sup>. 기지국에서 송신한 신호와 중계기에서 송신한 신호는 5장에서 제안될 전송 프로토콜에 의

해 쉽게 구별된다.

### 4. 중계기를 통한 주파수 공간 블록 부호화 SC-FDMA 다중 사용자 접속 방식

<그림 3>은 단말기로부터 기지국으로의 상향 전송을 위한 SC-FDMA 기본 구조를 보여주고 있다. <그림 3(a)>와 같이, 기지국에서는 단말기와 중계기로부터 수신된 신호들로부터 다이버시티 이득을 얻게 된다. <그림 3(b)>는 단말기 송신기 내부 구조를 보여주고 있다. 전송 비트 신호는 부호기와 인터리버를 거쳐 부채널 맵핑된 후 M점 푸리에 변환을 통해 주파수 대역 신호로 변환된다. 이 때, M은 각 단말 사용자에게 할당된 부채널 수 또는 각 단말 사용자에게 지정된 푸리에 변환 점 개수를 의미한다. 각 단말 사용자의 주파수 대역 신호는 N점 역 푸리에 변환을 거쳐 시간 대역 신호로 변환되고 사이클릭 프리픽스 신호가 추가되어 단말기 송신 안테나를 통해 발송된다. <그림 3(c)>는 중계기 내부 구조를 보여주고 있다. 먼저, 중계기 수신기는 단말기로부터 신호를 수신하여 사이클릭 프리픽스를 제거하고, N점 푸리에 변환한 후, 해당 단말기에 지정된 M개 부채널 신호에 대한 등화 과정을 수행하고, M점 역 푸리에 변환한다. MAP 디텍터로부터 얻은 신호 비트의 LLR 값을 디인터리버와 디코더에 입력하여 원 신호를 복원하게 된다. 복원된 신호는 기지국으로의 전송을 위하여 중계기 송신기로 전달된다. 중계기 송신기에서는 복원 신호를 받아 부호화, 인터리빙, 부채널 맵핑, M점 푸리에 변환, N점 역 푸리에 변환, 사이클릭 프리픽스 추가 등 단말기 송신기와 동일한 과정을 수행하여 신호를 발송하게 된다. 다만, <그림 3(c)>에서 볼 수 있듯이, 다이버시티 이득 획득을 위하여 주파수 공간 블록 부호 맵핑 과정이 포함된다. 기지국에서는 <그림 3(d)>와 같이, 단말기와 중계기로부터 전송된 신호를 각각 수신하여 N점 푸리에 변환한 후, 주파수 공간 블록 부호에 대한 MRC 과정을 수행하고, 등화기, M점 역 푸리에 변환기, MAP 디텍터, 디인터리버 및 디코더를 통과



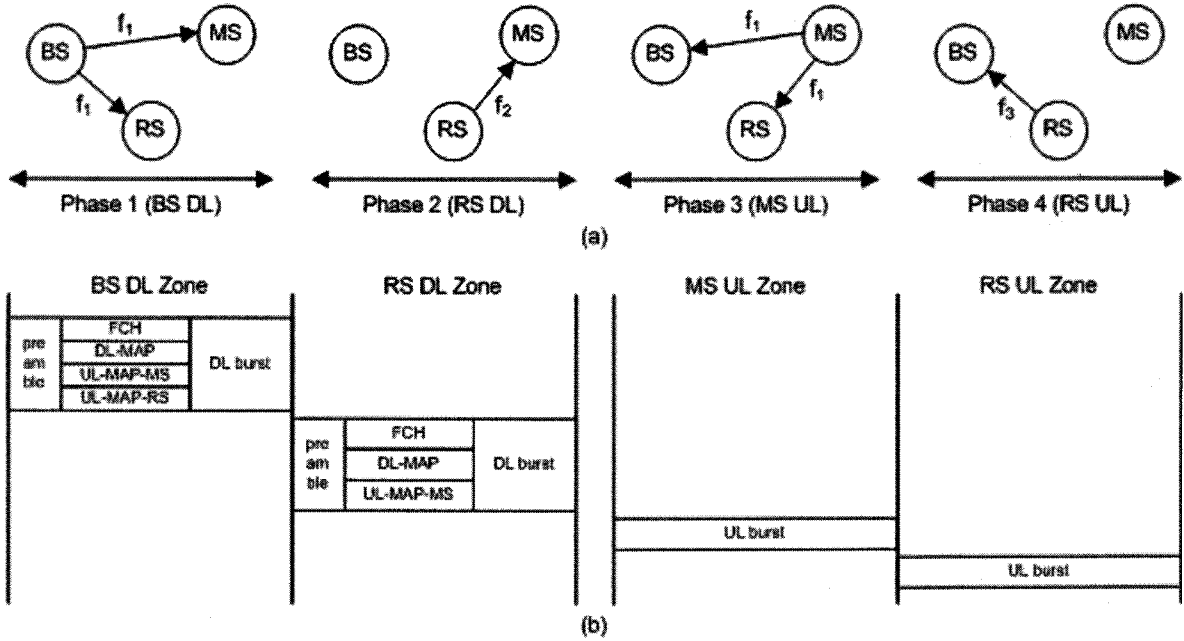
<그림 3> 상향 전송을 위한 SC-FDMA 기본 구조 (a) 중계기를 활용한 다이버시티 (b) 단말기 송신기 내부 구조 (c) 중계기 송수신기 내부 구조 (d) 기지국 수신기 내부 구조

시키면 다이버시티 이득에 의해 수신 성능이 크게 향상된 신호를 복원하게 된다.

### 5. 채널 선택적 중계기 운영 방안

일반적으로 다중 사용자 접속 방식에서의 각 사용자 단말기는 기지국까지의 채널 상태를 파악하여 채널 상태가 좋은 주파수 대역을 결정하고, 결정된 해당 주파수 대역을 사용하여 단말기와 기지국 간의 통신을 수행한다. 이때, 채널 상태는 추정된 채널 전력  $|h|^2$  또는 추정된 수신 신호 대 잡음 비 (SNR, Signal-to-Noise power Ratio)로 판단할 수 있다. <그림 2(a)>와 <그림 3(a)>와 같이, 단말기, 기지국, 중계기를 모두 사용하는 경우에는 단말기와 기지국 간의 채널이 기준이 되어, 중계기와 단말기, 또는 중계기와 기지국 간의 통신을 위해서도 단말기와 기지국 간의 채널에 의해 결정된 주파수 대역을 동

일하게 사용하여야 한다. 만약, 중계기와 단말기 간의 통신을 위해 중계기와 단말기 간의 채널 상태에 따라 주파수 대역을 선택하여 사용할 수 있다면, 그리고, 중계기와 기지국 간의 통신을 위해 중계기와 기지국 간의 채널 상태에 따라 주파수 대역을 선택하여 사용할 수 있다면 시스템 성능을 향상시킬 수 있다. 그러나, 전체 사용 가능한 주파수 대역이 한정되어 있는 상황에서 특정 사용자가 기지국용 주파수 대역과 중계기용 주파수 대역을 서로 다르게 동시 사용하면, 사용자 별 이용 주파수 대역이 배가 되기 때문에 전체 사용자 수가 줄어드는 치명적인 단점이 생긴다. 이러한 문제점을 극복하면서 시스템 성능을 향상시키기 위하여 본 논문에서는 채널 선택적 중계기 사용을 위한 운영 방안을 <그림 4>와 같이 제시하였다. <그림 4(a)>의 프로토콜에 따르면, 첫 번째 하향 전송 구간 (phase 1)에서 기지국은 단말기 사이의 채널 상태에 따라 결정된 기준 주파수 대역  $f_1$ 을 사용



<그림 4> 채널 선택적 중계기 운영 방안 (a) 프로토콜 (b) 상향/하향 링크 전송의 예

하여 단말기와 중계기로 신호를 전송한다. 두 번째 하향 전송 구간 (phase 2)은 중계기만 전송을 할 수 있도록 지정하고, 중계기는 기준 주파수  $f_1$ 이 아닌, 중계기와 단말기 간의 채널 상태를 살펴 결정된 주파수 대역  $f_2$ 를 사용하여 단말기로 신호를 전송하여 시스템 성능을 개선한다. 이 때, 하향 전송을 위해  $f_1$ 과  $f_2$ , 2개의 주파수 대역을 사용하지만, 각 전송 구간에서는 1개의 주파수 대역만 사용되므로, 전송 구간 별로 사용자 간 주파수 대역을 조정하면 전체 사용자 수가 줄어드는 문제점은 발생하지 않는다. 첫 번째 상향 전송 구간 (phase 3)에서는 기지국과의 채널에 따라 결정되어 있는 주파수 대역  $f_1$ 을 사용하여 기지국과 중계기로 신호를 전송한다. 두 번째 상향 전송 구간 (phase 4)은 중계기만 전송할 수 있도록 지정하고, 기준 주파수  $f_1$ 과 관계없이 중계기와 기지국 간의 채널을 살펴 결정된 최적의 주파수 대역  $f_3$ 을 사용하여 기지국으로 신호를 전송한다. 하향 전송과 마찬가지로,  $f_1$ 과  $f_3$ , 2개의 주파수 대역을 사용하지만, 각 전송 구간에서는 1개의 주파수 대역만을 사용하므로, 상향 전송 구간 별로 사용자 간 주

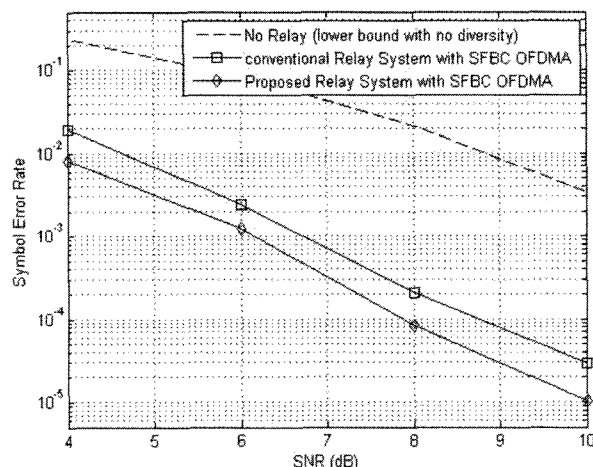
파수 대역을 조정하면 전체 사용자 수가 줄어드는 문제점은 발생하지 않으면서 수신 성능을 개선할 수 있다. <그림 4(b)>는 <그림 4(a)>의 프로토콜을 반영한 상하향 링크 전송의 예를 보여주고 있다. 기지국이 단말기와 중계기로 신호를 전송하는 하향 링크 구간 (BS DL Zone)에서는 초기 동기, 셀 탐색, 주파수 오프셋 및 채널 추정 등을 위한 프리앰블 (preamble) 신호와 프레임 구성 정보를 포함하는 FCH (Frame Control Header) 메시지가 맨 먼저 전송된다. FCH 이후에는 하향 링크 전송 메시지들 (DL burst)을 위한 정보를 포함하고 있는 DL-MAP 메시지와 상향 링크 전송 메시지들 (UL burst)을 위한 정보를 포함하고 있는 UL-MAP 메시지가 전송되고, 그 이후 DL burst 메시지들이 전송된다. UL-MAP 메시지의 경우, 단말기를 위한 UL-MAP-MS 메시지와 중계기를 위한 UL-MAP-RS 메시지로 나뉘어 전송된다. 특히, 본 논문에서 제안한 채널 선택적 중계기 운영을 위해, DL-MAP 메시지에는 기지국 전송 신호에 사용되는 주파수 대역  $f_1$ 이 파라미터로 포함되고, UL-MAP-MS 메시지에는 단말기 전송

신호에 사용되는 주파수 대역  $f_1$ 이, UL-MAP-RS 메시지에는 중계기 상향 전송 신호에 사용되는 주파수 대역  $f_3$ 이 파라미터로 포함된다. 기지국으로부터 신호를 받아 단말기로 재전송하는 중계기 하향 링크 구간 (RS DS Zone)에서는 기지국에서 보내준 프리엠블, FCH, DL burst 메시지들을 그대로 전송한다. 다만, 중계기 하향 전송 신호에 사용되는 주파수 대역  $f_2$ 가 파라미터로 포함된 DL-MAP 메시지가 전송되어야 하고, 단말기만이 중계기를 향해 상향 전송하기 때문에 UL-MAP 메시지는 UL-MAP-MS 메시지만 존재하게 된다. 이 때, UL-MAP-MS 메시지에는 주파수 대역  $f_1$ 이 파라미터로 포함된다. 단말기가 기지국과 중계기로 상향 전송하는 구간 (MS UL Zone)에서는 UL-MAP-MS 메시지에 파라미터로 포함되어 있었던 주파수 대역  $f_1$ 을 사용하여 UL burst 메시지들을 전송한다. 마지막으로, 중계기가 단말기로부터 수신된 UL burst들을 복원하여 기지국으로 상향 재전송하는 구간 (RS UL Zone)에서는 UL-MAP-RS 메시지에 파라미터로 포함되어 있었던 주파수 대역  $f_3$ 을 사용하여 기지국으로 UL burst 메시지들을 전송한다.

제안된 운영 방안을 위해 자원의 추가 이용은 없으나, 기 계산된 채널 상태를 비교하여 사용자 간 주파수 대역을 공평하게 결정하는 과정이 필요하며, 그에 따른 처리 시간이 추가로 소요된다.

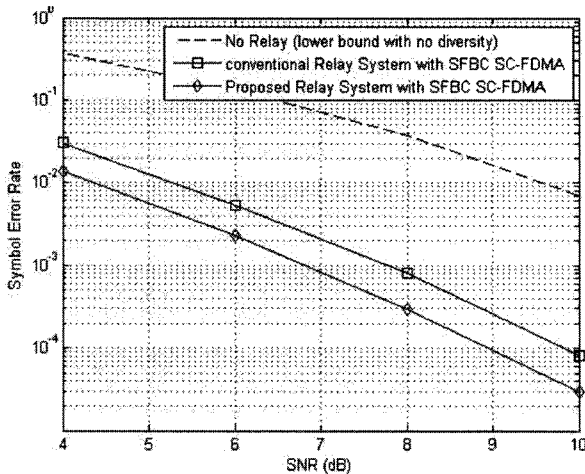
## 6. 실험 결과

실험을 위하여 256개의 부채널 ( $N=256$ )을 사용하고, 64개의 부채널 ( $M=64$ )을 1개 밴드로 구성한 후, 총 4개 부채널 밴드 중에서 1개를 사용자에게 할당하는 밴드형 방식을 채택하였다. 각 부채널은 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 변조 방식을 적용하였고, 제한 길이 7을 갖는 1/2 비율의 길쭉 부호와  $S=5$ 로 설정된 S-random 인터리버를 사용하여 이진 신호를 부호화하였다. 0.001의 정규화된 도플러 주파수를 가정하였고, 1개 프레임은 훈련 심볼 구간 없이 10개의 데이터 심볼 구간으로 구성하였다.



<그림 5> 주파수 공간 블록 부호화 중계기 기반의 OFDMA 하향 링크 시스템 성능

6-탭 TU (Typical Urban) 무선 채널을 사용하였고, 채널 추정은 완벽하다고 가정하였다. <그림 5>는 하향 링크 OFDMA 시스템의 심볼 에러 오율 (SER, Symbol Error Rate) 성능을 보여주고 있다. <그림 5>의 대쉬 선은 중계기 없이 단말기와 기지국 간의 전송만 이뤄진 경우의 성능을 보여주고 있다. 다중 경로가 생성되지 않아 주파수 공간 블록 부호에 의한 다이버시티 이득을 얻지 못하였기에 성능이 매우 나쁨을 확인할 수 있다. <그림 5>의 사각형 모양 실선은 중계기를 통해 주파수 공간 블록 부호를 적용하였지만, 단말기와 기지국 간의 기준 주파수를 중계기가 그대로 사용한 경우의 성능을 보여주고 있고, 마름모 모양의 실선은 본 논문에서 제안한 방식, 즉, 단말기와 기지국 간의 기준 주파수와 별도로, 중계기와 단말기 간의 채널에 따라 최적의 주파수 대역을 선택하여 사용한 경우의 성능을 보여주고 있다. 사각형 모양의 실선과 마름모 모양의 실선의 경우, 다이버시티 이득 획득을 위하여 2x2 주파수 공간 블록 부호를 적용하여 실험하였고, 기지국과 중계기 사이의 신호 대비 잡음 비 (SNR)는 20 dB로 설정하였다. 본 논문에서 제안된 방식을 채택함으로써, 하향 링크 OFDMA 시스템의 성능이  $10^{-4}$ 의 심볼 에러 오율 수준에서 약 1.0 dB 개선되었음을 확인할 수 있다. <그림 6>은 상향 링크



<그림 6> 주파수 공간 블록 부호화 중계기 기반의 SC-FDMA 상향 링크 시스템 성능

SC-FDMA 시스템의 심볼 에러 오율 성능을 보여주고 있다. <그림 5>와 마찬가지로, <그림 6>의 대취 선은 중계기 없이 기지국과 단말기 간의 통신만 이뤄진 경우이고, 사각형 모양의 실선과 마름모 모양의 실선은 중계기를 통해 다중 경로를 설정하고, 주파수 공간 블록 부호를 적용한 경우이다. 다만, 사각형 모양의 실선은 중계기와 기지국 간의 채널 상황에 관계없이 중계기가 기준 주파수를 사용한 경우의 성능이고, 마름모 모양의 실선은 본 논문에서 제안된 방식을 적용한 경우의 성능이다. 그림 6을 통해 알 수 있듯이, 상향 링크 SC-FDMA 시스템의 성능 역시  $10^{-4}$ 의 심볼 에러 오율 수준에서 약 1.0 dB 개선되었음을 확인할 수 있다.

## 7. 결론

본 논문에서는 채널 선택적 중계기 기반의 주파수 공간 블록 부호 시스템을 하향 링크 OFDMA 전송 시스템과 상향 링크 SC-FDMA 전송 시스템에 모두 적용하여 실험하였다. 또한, 채널 선택적 중계기 기반 시스템을 위한 운영 방안을 제안하였다. 제안된 방식에 따라 중계기와 단말기, 또는 중계기와 기지국 사이의 채널 상태에 따라 주파수 대역을 선택적으로 사용함으로써 수신 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

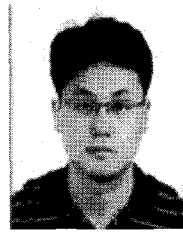
## 참고 문헌

- [1] R. Van Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House Publishers, 2000.
- [2] D. Falconer, S.L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, "Frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless systems", IEEE Communications Magazine, vol. 40, pp. 58-66, April 2002.
- [3] Y.S. Kim, B.J. Jeong, J.H. Chung, C.S. Hwang, J.S. Ryu, K.H. Kim, and Y.K. Kim, "Beyond 3G: vision, requirement, and enabling technologies", IEEE Communications Magazine, vol. 41, pp. 120-124, March 2003.
- [4] Samsung 4G Forum, "Migration Paths Towards 4G Networks", Aug. 2004.
- [5] 윤철식, "WiBro 기술이 IEEE 802.16 표준으로 채택되기까지", 한국통신학회지, 제 25권 제 3호, pp. 60-63, 2008년 3월.
- [6] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [7] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A.R. Calderband, "Space-time block codes from orthogonal designs", IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, no. 5, pp. 1456-1467, July 1999.
- [8] N. Al-Dhahir, "Single-carrier frequency-domain equalization for space-time block-coded transmissions over frequency-selective fading channels", IEEE Communications Letters, vol. 5, no. 7, pp. 304-306, July 2001.
- [9] J.H. Jang, H.C. Won, and G.H. Im, "Cyclic Prefixed Single Carrier Transmission with SFBC over Mobile Wireless Channels", IEEE Signal Processing Letters, vol. 13, no. 5, pp. 261-264, May 2006.
- [10] 임민중, 김홍석, "SC-FDE 시스템에서의 다이버시티 기술 비교", 한국통신학회논문



지(무선통신), 33권 8호, pp. 1043-1052, 2008년 10월.

- [11] R. Pabst, etc., "Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio", IEEE Communications Magazine, vol. 42, pp. 80-89, Sep. 2004.
- [12] D.Y. Seol, U.K. Kwon, G.H. Im, and E.S. Kim, "Relay-assisted SFBC single carrier transmission over uplink fast fading channels", IEEE GLOBECOM, 2007.
- [13] T.W. Yune, J.B. Lim, Y.C. Cheong, and G.H. Im, "Iterative Multiuser Detection with Spectral Efficient Protocol for Relay-Assisted SC-FDE", IEEE Communications Letters, vol. 12, no. 3, pp. 182-184, March 2008.
- [14] 원희철, "광대역 무선 이동 통신을 위한 채널 선택적 릴레이 기반 전송 시스템", 한국산업정보학회논문지, 14권 4호, pp. 8-15, 2009년 12월.



원 희 철 (Hui-Chul Won)

- 종신회원
- 1998년 2월 : 포항공대 전자전기공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 포항공대 전자전기공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 포항공대 전자컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2004년 9월 ~ 2006년 8월 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원
- 2006년 9월 ~ 현재 : 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 조교수



김 순 철 (Soon-Cheol Kim)

- 1990년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 1998년 8월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1998년 9월 ~ 1999년 2월 : 서울대학교 컴퓨터신기술연구소 특별연구원
- 2005년 3월 ~ 2006년 2월 : University of Massachusetts Amherst 객원교수
- 1999년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 부교수