

---

# AMC와 SFC기법을 적용한 MIMO-OFDM 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of MIMO-OFDM System Applying AMC and SFC Schemes

---

이윤호<sup>\*</sup>, 김형중<sup>\*</sup>, 조권도<sup>\*</sup>, 김경석<sup>\*</sup>  
충북대학교 전자공학과<sup>\*</sup>, 한국전자통신연구원 이동통신 연구단<sup>\*\*</sup>

Yun-Ho Lee(paper9875@nate.com), HyungJung Kim(acekim@etri.re.kr),  
GD Jo(gdjo@eti.re.kr)<sup>\*\*</sup>, Kyung-Seok Kim(kseokkim@cbnu.ac.kr)<sup>\*</sup>

---

### 요약

AMC 기술은 고속의 데이터 전송율의 요청을 지원하는 유망한 기술이므로 4세대 이동통신 시스템의 표준으로 제안되고 있다. 본 논문에서는 단일 사용자에 초점을 맞추어 OFDM 시스템 기반 하에 AMC 기술을 SISO-OFDM과 SFBC-OFDM을 비교하여 시뮬레이션을 수행하였다. 서로 다른 성상도의 크기 하에 다중 경로 페이딩 채널을 겪는 다운링크 시스템 환경 아래 채널 용량의 측면에서 성능 분석을 하였다. 채널 상태가 예측 가능하다는 전제 하에 SFBC OFDM이 채널 용량 측면에서 더 나은 성능을 보였다.

■ 중심어 : | MIMO-OFDM | Space-Time/Frequency Coding | Adaptive Modulation and Coding |

### Abstract

Adaptive modulation and Coding(AMC) scheme is promising technique to support the demands for high data rates and wideband proposed for 4G mobile communication system standards.

In this paper, adaptive modulation and coding(AMC) based on OFDM system is analyzed through simulation for single user case and compared with SISO-OFDM and SFBC(Space frequency block coding)-OFDM. The performance analysis in terms of capacity for downlink system environments with different values of constellation size under multipath fading channel is done. The adaptive modulation and coding technique is based on perfect estimation channel. It has been observed that SFBC(Space-frequency block coding)-OFDM system gives better performance in terms of capacity.

■ keyword : | MIMO-OFDM | Space-Time/Frequency Coding | Adaptive Modulation and Coding |

---

## 1. 서론

차세대 무선 시스템은 음성 신호, 파일 전송, 웹 브라우징, 무선 멀티미디어와 같은 다양한 서비스가 제공될 것이 기대된다. 그러나 현재 직면하고 있는 주요 과제들은 다양한 Qos(Quality of service) 요구사항, 복잡한 무선 채널과 무선 자원, 제한된 에너지 자원들이 포함된다.

이것은 무선매체에 있어서 최소한의 Qos보장과 사용자들 간의 공평성, 그리고 효율적인 전력과 스펙트럼을 이용하기 위해 자원 할당 기술(Resource Allocation) 개발의 움직임을 촉진시키고 있다. 한편, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 다중 경로 감쇄(Multipath fading)에 강인하고 송수신기의 복잡도가 적은 장점으로 DAB(Digital Audio Broadcasting)나

DVB(Digital Video Broadcasting) 같은 디지털 방송 및 무선 랜 및 휴대 인터넷 등의 패킷 기반 무선 시스템에서 전송 효율을 높이는 데 활용되어 왔다[1]. 또한, 제한된 주파수 자원 하에서 채널의 용량을 증대시키거나 다이버시티(Diversity) 효과를 통하여 시스템의 성능을 향상시키는 MIMO(Multiple Input Multiple Output)-OFDM이 한창 연구 중에 있다[2].

적응 변조 및 부호화 기술은 차세대 이동통신의 표준을 위한 유력한 기술로 제안되고 있다. 또한 채널 예측이 가능한 DSP기술의 개발에 원동력으로 간주되고 있다. 적응 변조 및 부호화 기술은 시간에 따라 가변 하는 채널 상황에 대한 응답으로 볼 수 있다. 수신단에서 송신단으로의 피드백 작용을 통해 서로 다른 데이터 전송율과 전력 레벨, 변조 방식, 코딩 기술이 공급되어 질 수 있다. 즉, 채널 상황에 따라 위와 같은 값들을 변화시켜 줌으로서 채널 용량이 상당히 증가되어 질 수 있다는 것을 볼 수 있다. 이것은 기존의 채널 상황을 고려하지 않은 채 고정된 변조 방식을 사용했던 방식에 비해 더 나은 성능을 보일 수 있다[3].

본 논문에서는 송신단에서 완전히 채널 예측이 가능하다는 전제 아래  $TargetBER = 10^{-3}$ 을 만족하는 SNR의 값을 기준으로 적응 변조 및 부호화 기술을 적용하여 적용하지 않았을 때와의 성능 비교를 보인다. 그리고 SISO-OFDM 과 MIMO(SFBC)-OFDM 사이에서 성능 비교를 보도록 한다.

## II. 기본적인 MIMO-OFDM 시스템

현재 무선통신 시스템은 제한된 주파수에 고품질, 대용량의 멀티미디어 데이터 전송을 목표로 한다. 이를 위해 제한된 주파수를 사용해 많은 용량의 데이터를 보내는 방법이 각광받고 있다. 이 중 하나가 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 시스템으로 주파수를 더 늘리지 않고도 보다 많은 양의 데이터를 보낼 수 있는 장점이 있다. 하지만 MIMO 시스템은 고속 전송 시 발생하는 심볼간 간섭 (InterSymbol Interference), 주파수 선택적 페이딩(Frequency Selective Fading)에 약하다는

단점이 있다. 이러한 단점 극복을 위해 OFDM 방법을 함께 사용한다. OFDM은 데이터를 병렬 처리함으로써 고속의 데이터 스트림(Data Stream)을 저속으로 분할하여, 반송파를 사용하여 동시에 전송한다. 저속의 병렬 반송파를 사용함으로써 심볼 구간이 증가해 심볼 간 간섭이 줄어들고, 보호 구간(Guard Interval)의 사용으로 거의 완벽하게 제거된다. 또한 여러 개의 반송파를 사용함으로써 주파수 선택적 페이딩에 강한 장점이 있다. 다음의 [그림 1]은 기본적인 MIMO-OFDM 시스템의 구성을 나타낸다.

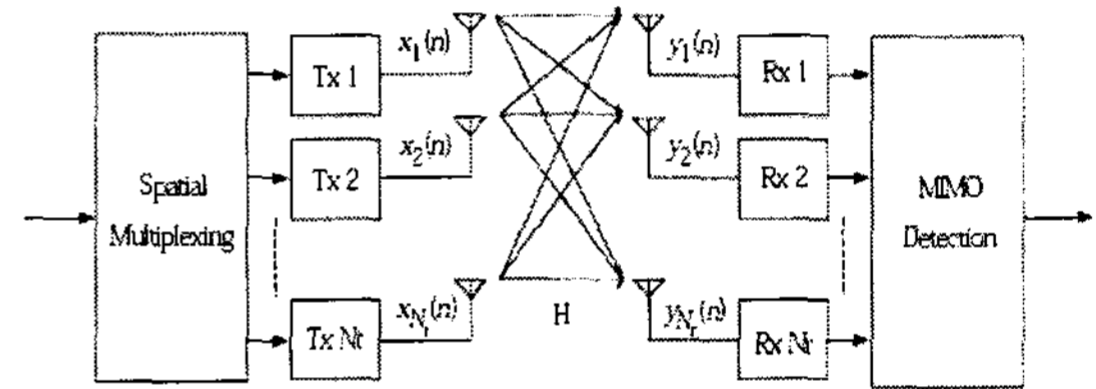


그림 1. MIMO-OFDM Structure

결국 이 두 시스템을 결합함으로써 MIMO 시스템의 장점은 그대로 이용하고 단점은 OFDM 시스템을 이용해 상쇄시킬 수 있다[4].

## III. Cross-Layer 기법을 적용한 효율적인 MIMO-OFDM 시스템

멀티미디어 서비스(오디오, 비디오)와 데이터 서비스를 위한 다양한 Qos가 차세대 무선 네트워크의 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 이러한 Qos의 요청에 따라 모바일 사용자들을 실시간 사용자와 비실시간 사용자로 구분할 수 있는데 서로 다른 Qos에 따른 혼돈 속에서 무선 네트워크 설계는 더욱 어려워졌다. 이것을 극복하기 위한 유망 기술로는 물리 계층에서의 동적 자원 할당(Dynamic Resource Allocation)기법으로 실시간, 비실시간 사용자들 간에 BER-Qos를 보장하며 스펙트럴 효율(Spectral efficiency)을 최대화하기 위해 송신 안테나와 코딩 타입을 적절히 할당한다[5].

### 3.1 AMC Scheme

멀티미디어 데이터는 서비스의 종류에 따라 다양한 전송률, 다양한 전송 품질 등을 요구하므로 기존의 음성 위주의 서비스 제공과는 다른 개념의 링크 적응(Link Adaptation)기법이 요구된다. Adaptive Modulation and Coding(AMC)은 이러한 데이터 전송에 효율적인 링크 적응 기법으로 전송 전력이 아니라 전송률을 채널 환경에 맞게 변화시키는 적응 방식이다.

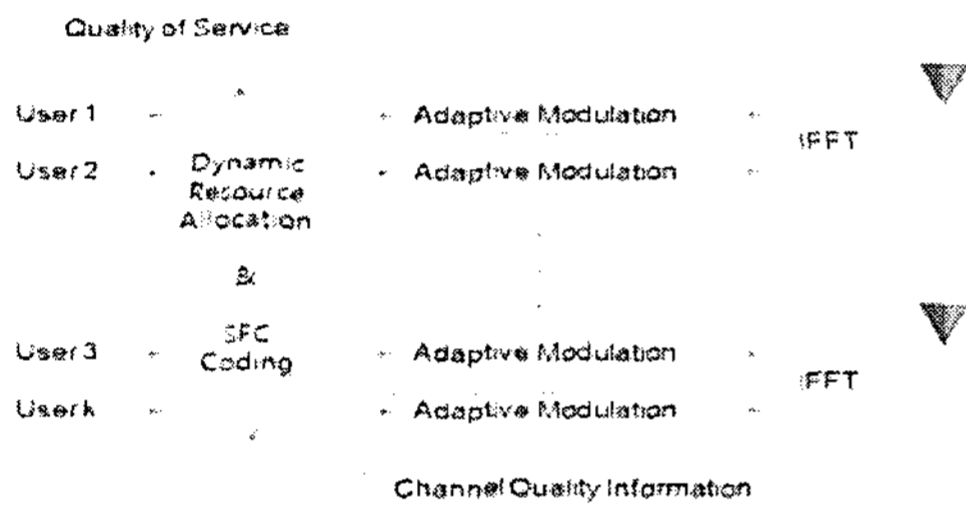


그림 2. Downlink SFBC-OFDM system with AMC

[그림 2]는 하향링크 SFBC-OFDM 시스템에서 AMC 기법을 적용한 것을 나타낸다. AMC 기법은 하향 경로에서 기지국이 특정 사용자에게 할당할 수 있는 전력량에 제약이 존재하고, 사용자의 신호 수신 환경이 사용자마다 다를 수 있다는 점을 극복하기 위해서 개발되었다. 즉, 특정 사용자가 고속 패킷 데이터 서비스를 요구할 때는 기지국이 이에 대응하여 해당 사용자에게 가장 적절한 변조 방법을 선택하여 기지국이 할당할 수 있는 최대의 전력량으로서 신호를 송신해주게 되지만 이를 위해서는 기지국이 변조 방식을 결정하기 위한 기본 자료가 필요하게 된다. 기지국은 사용자가 신호를 수신하고 있는 현재의 수신 환경에 대한 정보를 알아야만 현재의 전력량으로 송신할 수 있는 최적 변조 방식을 선택할 수 있는 것이다. 따라서 이를 위해서는 사용자가 자신의 수신 환경을 기지국에 보고해야만 한다. 이 방법을 위해서는 사용자 별 수신 환경에 대한 측정 방법 및 기지국으로의 보고 방법, 기지국에서의 전력량 관리 기법, 기지국에서의 최적 변조 방식 결정 방법 및 사용자에게 통보 방식 등이 요구 된다.

본 논문에서는 수신 받은 SNR값에 따라 적절한 변조 방식과 코딩율을 결정하는 AMC기법을 적용하였다. 변조 방식은 M-QAM(QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM)이 고려되었다. M-QAM 방식에서 BER을 표현하기 위한 식이 식(1)에 표현되어 있다.

$$P_b = 0.2 \exp\left(-\frac{3\beta}{2(M-1)}\right) \quad (1)$$

$\beta$ 는 수신 받은 SNR값을 나타내고,  $M=2^r$ 에서  $r$ 은 서로 다른 변조 방식의 심볼에 해당되는 비트 수를 나타낸다. 두 번째로 각 변조 방식의 심볼에 해당되는 비트 수인  $r$ 과 Target BER  $P_a$ 에서 각 변조 타입에 대한 경계를 만들기 위한 식은 식(2)와 같다[6].

$$\beta = -\frac{2}{3}(\ln 5P_a)(2^r - 1) \quad (2)$$

본 논문에서는 각 채널에서 요구되어지는 최소한의 Target BER  $P_a = 10^{-3}$ 이라 가정하였다.

### 3.2 SFBC Scheme

SFBC는 다수의 송/수신 안테나를 사용하는 환경에서 같은 심볼을 인접한 캐리어의 다른 안테나로 중복하여 전송함으로써 전송 다이버시티를 얻는 방식이다[7].

본 논문에서는 MIMO의 코딩 방식인 STC (Space-Time Coding)과 SFC (Space-Frequency Coding) 중 SFC가 fast fading에서 더 좋은 성능을 보이기에 SFC 방식을 채택하였다[8].

기존의 OFDM 방식에서와 같이 직렬의 데이터 스트림을 병렬의 각 블록으로 나눈다고 할 때 식(6)으로 표현할 수 있다.

$$S = (s[1], s[2], \dots, s[N-1]) \quad (3)$$

$N$ 은 FFT 크기를 나타낸다. 2개의 송신 안테나에서의 전송을 위한 직교 블록 코드를 나타내기 위해 식(4)과 같이 2개의 서브 블록을 정의하여, G2 행렬을 표현할 수 있다

$$\text{Sub-Block 1} : s_1[i] = (s[2i] - s^*[2i+1])$$

$$\text{Sub-Block 2} : s_2[i] = (s[2i+1] - s^*[2i])$$

$$G_2 = [(s_1[i])^T (s_2[i])^T], i = 0, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (4)$$

N은 FFT 크기를 나타낸다.

즉, G2 행렬에서는 N의 길이를 갖는 2개의 블록, S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>를 제공하는데 이것을 이용한 입력 인코더 부분은 식(5)과 같이 각 데이터가 주파수에 매핑 된다.

$$S_1 = (s[0], -s^*[1], s[2], -s^*[3], \dots, s[N-2], -s^*[N-1])^T$$

$$S_2 = (s[1], -s^*[0], s[3], -s^*[2], \dots, s[N-1], -s^*[N-2])^T \quad (5)$$

SFC 다이버시티를 위해 변조기 부분에서 G2 행렬에서 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>에 해당되는 X<sub>1</sub>과 X<sub>2</sub> 블록을 생성하여 각각 첫 번째 송신 안테나와 두 번째 송신 안테나에 신호를 보내게 된다.

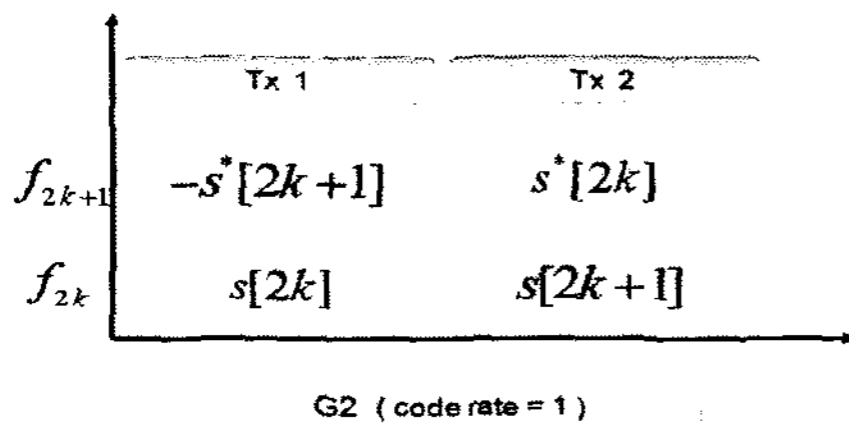
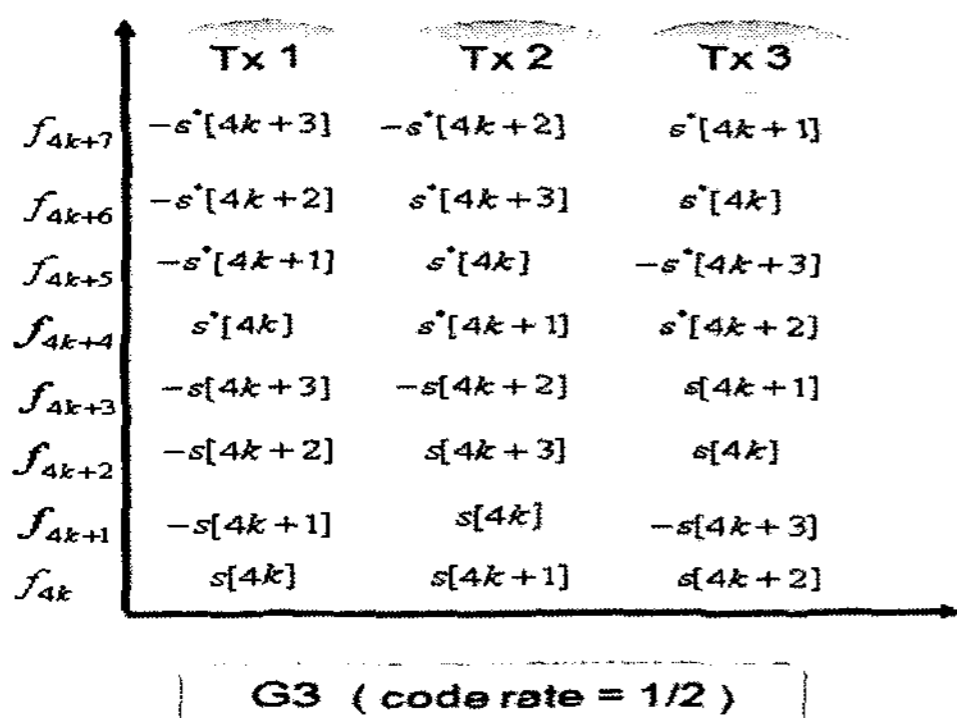
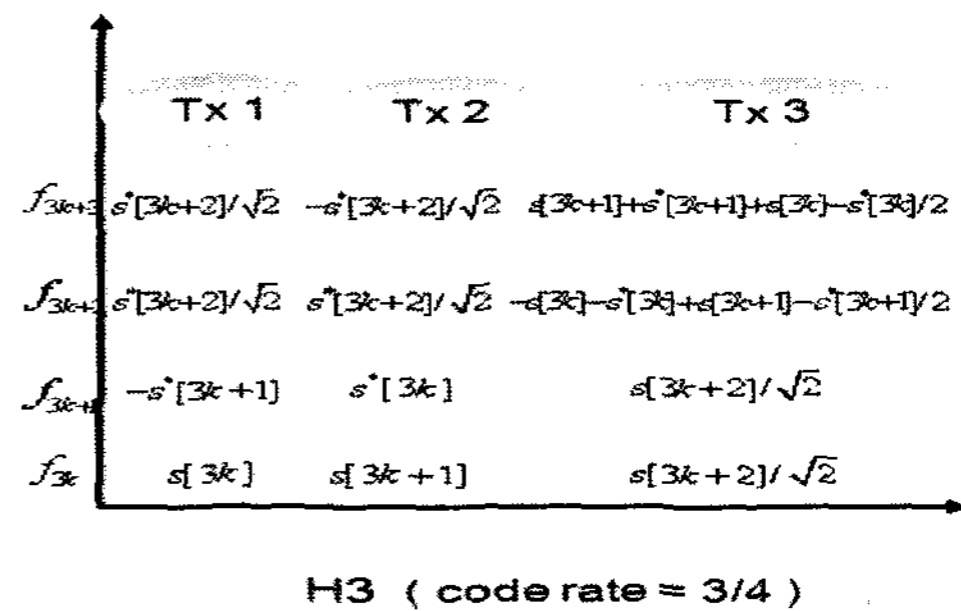


그림 3. 송신 안테나의 개수가 2개인 경우 신호의 매핑 과정 (G2 matrix)

[그림 3]은 송신 안테나의 개수가 2개인 경우 직렬 데이터 스트림이 각 안테나에 매핑 되는 과정이다. 즉, G2 matrix를 그림으로 나타내었다. 가로축은 공간(Space)이고, 세로축은 주파수 대역을 나타낸다.



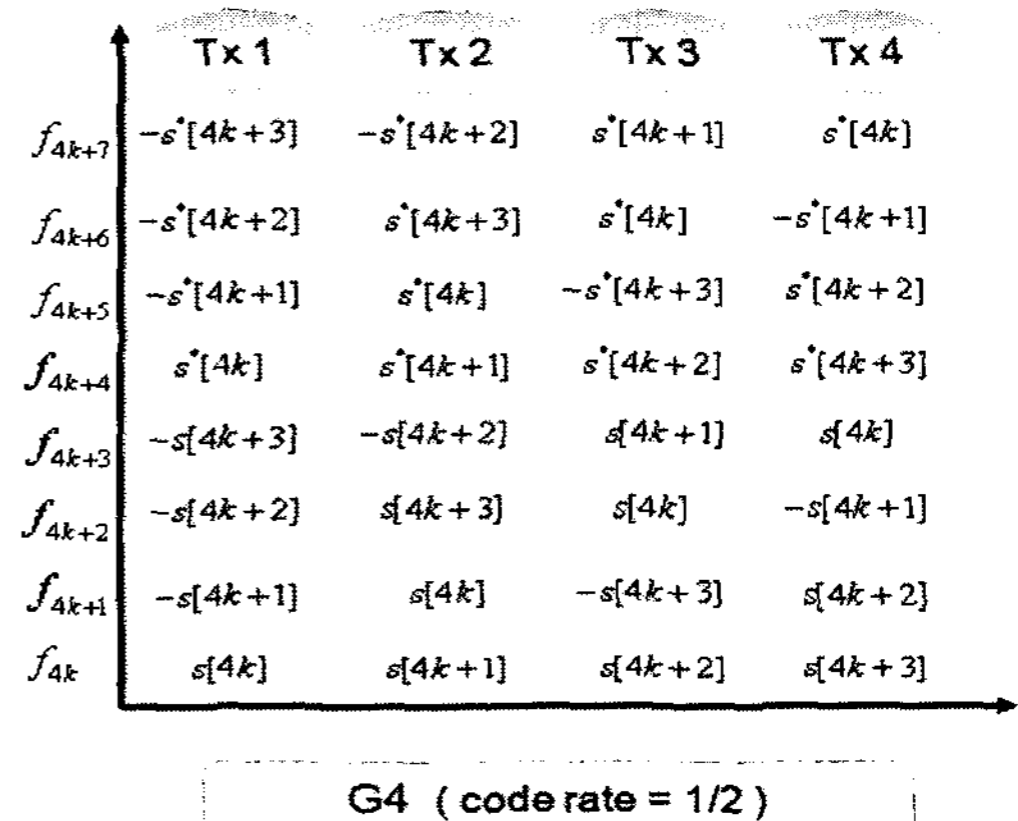
G3 (code rate = 1/2)



H3 (code rate = 3/4)

그림 4. 송신 안테나의 개수가 3개인 경우 신호의 매핑 과정(G3, H3 matrix)

[그림 4]는 G2 행렬에서 언급한 것과 마찬가지로 송신 안테나의 개수가 3개인 경우 직렬 데이터 스트림이 각 안테나에 매핑 되는 과정이다. 위의 그림은 G3 matrix이고, 아래 그림은 H3 matrix를 나타낸 그림이다. H3 matrix가 G3 matrix 보다 성능이 좋은 반면에 복잡성이 높다는 단점이 있다. 마찬가지로 가로축은 공간(Space)를 나타내고, 세로축은 주파수 대역을 나타낸다.



G4 (code rate = 1/2)

[그림 5]는 송신 안테나의 개수가 4개인 경우 직렬 데이터 스트림이 각 안테나에 매핑 되는 과정이다. 위의 그림은 G4 matrix이고, 아래 그림은 H4 matrix를 나타낸 그림이다. 마찬가지로 H4 matrix가 G4 matrix 보다 성능이 좋은 반면에 복잡성이 높다는 단점이 있다. 여기서도 가로축은 공간(Space)을 나타내고, 세로축은 주파수 대역을 나타낸다.

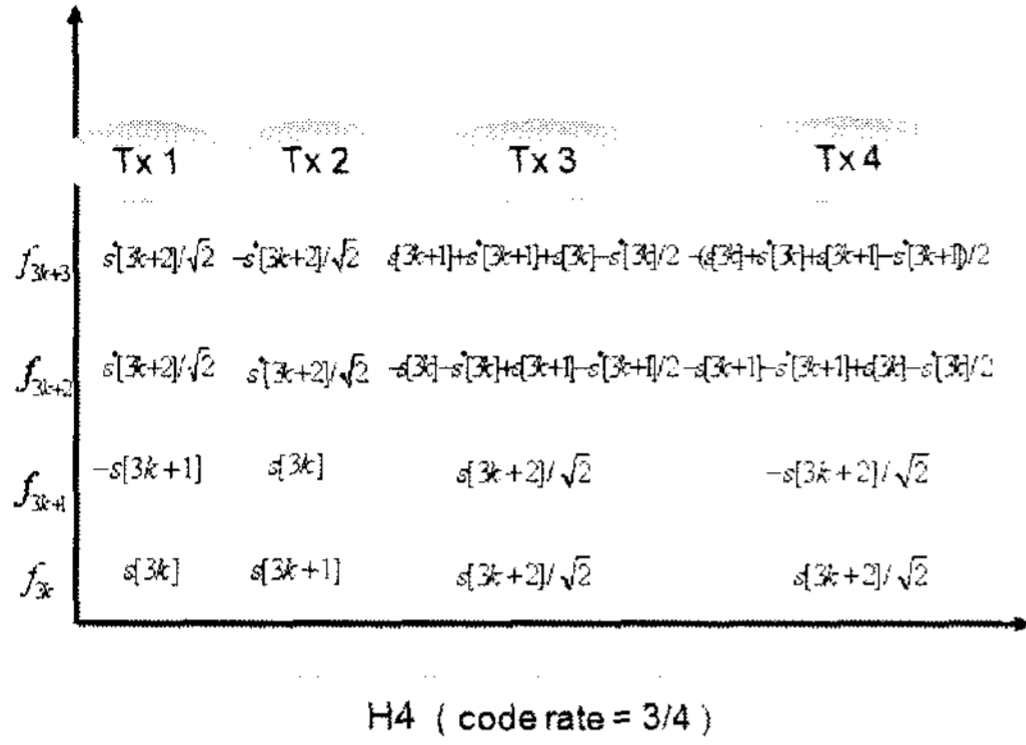


그림 5. 송신 안테나의 개수가 4개인 경우 신호의 매핑 과정 (G4, H4 matrix)

#### IV. Simulation Analysis

[표 1]은 Simulation에 적용한 OFDM Parameters를 보여준다.

표 1. Simulation Parameters

Parameters	Value
Size of FFT	1024
Data Sub-carrier	850
Virtual Sub-carrier	173
Cyclic Prefix	256
Channel	ITU-Vehicular A Velocity 60km/h
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

시뮬레이션에서는 Uncoded Data의 상황 하에 OFDM 시스템을 기반으로 이루어졌다. Data Subcarrier은 FFT size의 83%를 사용하였고, Cyclic Prefix는 FFT size의 25%를 사용하였다. Channel 모델은 Wibro의 환경을 고려하여 ITU-Vehicular A를 사용하였고, 유동성은 60km/h를 고려하였다.

표 2. Transmission mode with uncoded M-QAM modulation between SISO and SFBC

	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4
Modulation	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM
1by1	17.8	21.5	24.2	29.8
2by2	4.1	8.2	13.4	17.4
2by4	0.5	3.9	8.2	13.3
3by2(G3)	1.1	5.1	9.4	13.7
3by4(G3)	-2.5	1.3	5.1	10.4
3by2(H3)	1.9	6.1	11.5	15.3
3by4(H3)	-1.3	3.3	7.1	12.7
4by2(G4)	-0.5	3.7	7.3	12.2
4by4(G4)	-3.3	0.7	4.2	9.1
4by2(H4)	2.3	6.5	10.2	14.3
4by4(H4)	-2.0	2.1	6.5	12

[표 2]는 기존의 안테나 채널 모델로 많이 사용되어온 I-METRA(Intelligent Multi Element Transmit and Receive Antenna) 채널 모델 중 ITU-Vehicular A, Velocity 60km/h의 상황에서

$TargetBER = 10^{-3}$ 을 만족하는 SNR값을 각 변조 타입별로 나타낸 것이다. 본 논문의 시뮬레이션 과정에서는 이 값을 기준으로 AMC를 적용하였다.

시뮬레이션 과정은 Channel estimation이 된다는 가정 아래 수신단에서 CQI(Channel Quality Information)값을 송신단으로 Feedback하여 주면 [표 2]에 나온 값을 기준으로 변조 타입이 정해지고, 각각의 Data sub-carrier에 비트 수가 로딩 되어 진다. (비트가 로딩될 때의 파워는 이상적이라 가정한다.) 그 후 수신단에서 BER의 값을 고려하여 실제로 보내어진 데이터 용량을 계산하여 성능 비교를 보게 된다.

물리 계층에서의 자원 할당 기술 중에서 AMC 기법을 SISO-OFDM과 SFBC-OFDM에 적용해 본 시뮬레이션 결과이다.

[그림 6]은 SISO-OFDM 환경에서 AMC기법을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 BER 값을 고려하여 실제로 전송되는 데이터 용량을 나타낸 것이다.

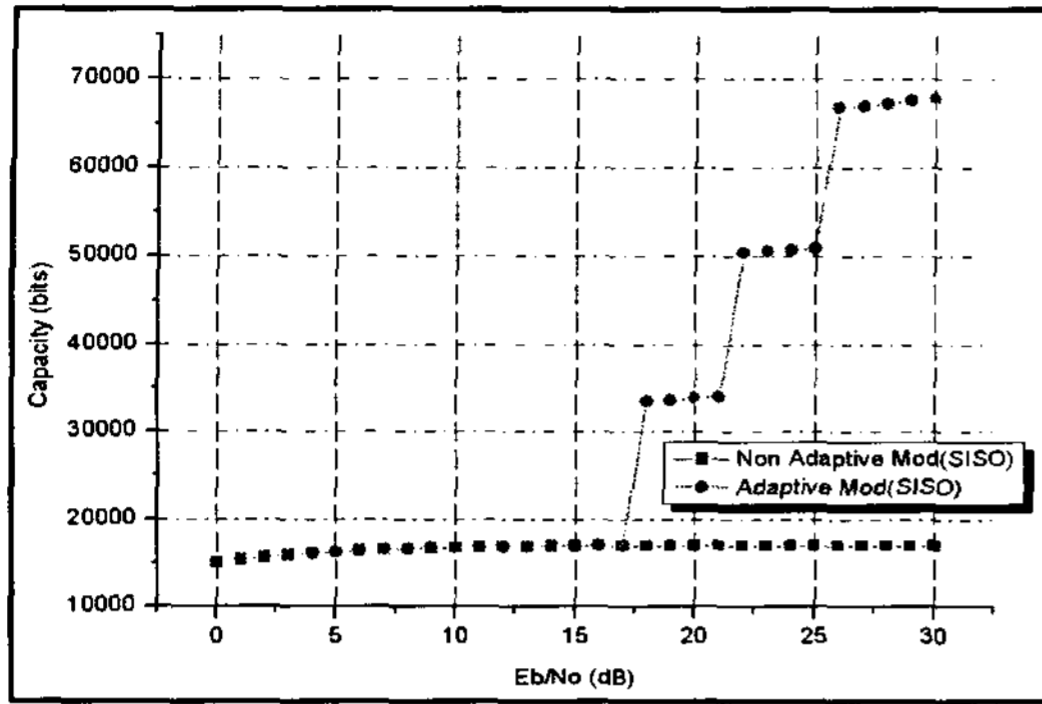


그림 6. AMC를 적용한 SISO-OFDM

AMC 기법을 적용하지 않았을 경우 QPSK 변조 방식만을 사용하여 데이터를 전송하게 되면 채널 상태가 좋아져도 전송하는 데이터의 용량에 큰 차이가 없지만, AMC 기법을 적용하였을 경우 채널 상태가 좋아짐에 따라 변조 방식을 바뀌므로 해서 전송하는 데이터의 용량을 최대 화합과 동시에 채널의 효율을 극대화 할 수 있는 것을 볼 수 있다.

[그림 7]은 SISO-OFDM과 SFBC-OFDM(2\*2, 2\*4)에서 AMC 기법을 적용하였을 경우 BER값을 고려하여 실제로 전송되는 데이터 용량을 비교한 것이다.

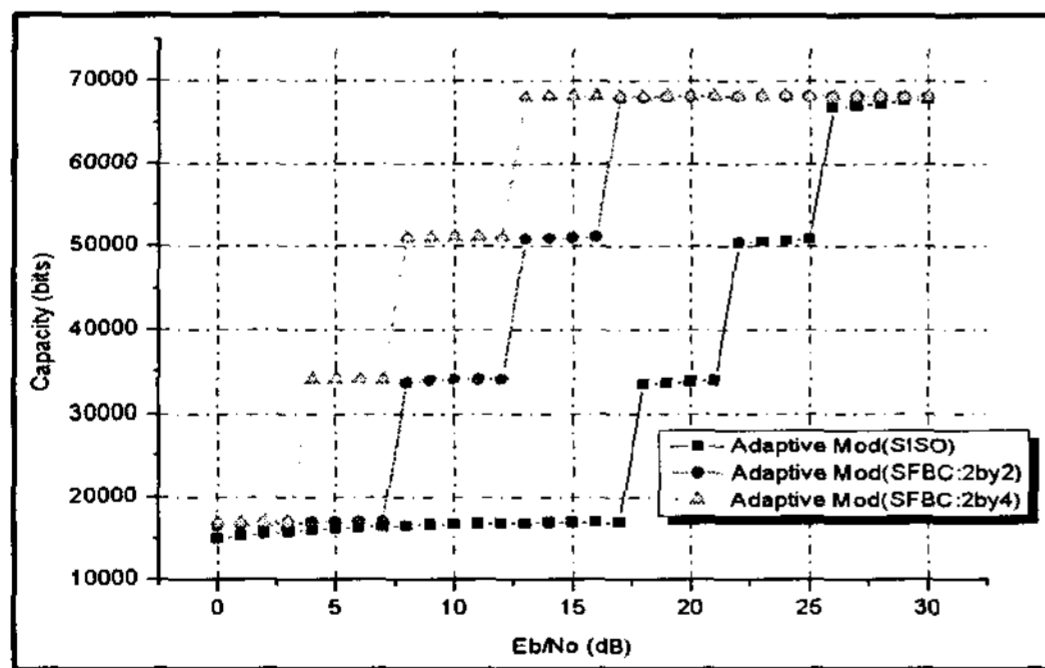


그림 7. AMC를 적용한 경우 SISO-OFDM과 SFBC-OFDM(G2) 성능 비교

0~5(dB) 사이의 Eb/No의 값을 가지는 경우에도 SISO-OFDM 보다는 SFBC-OFDM이 실제로 보내는 데이터 비트 수가 조금 더 많음을 확인할 수 있었다. (여기서 Eb/No와 SNR은 엄밀하게 서로 다른 값을 나타내지만 같은 맥락으로 이해하기로 한다.) SFBC-OFDM

의 경우 Eb/No가 0~10(dB) 사이의 값에서 이미 16QAM으로 변조가 가능하여 더 많은 데이터를 전송할 수 있음을 보여주고, 20(dB)이전의 값에서 256QAM까지 변조가 가능해 최대의 데이터를 전송할 수 있음을 보여주고 있다. SFBC-OFDM을 사용해도 실질적으로 보낼 수 있는 데이터의 양은 SISO-OFDM과 거의 같다고 볼 수 있지만, SFBC-OFDM의 주파수 다이버시티를 이용하여 채널 상태가 열악한 상황에서도 16-QAM 이상으로의 변조가 가능하여 주파수 효율 측면에서 SISO-OFDM보다 더 나은 성능을 보인다는 것을 볼 수 있다.

[그림 8]은 SFBC-OFDM에서 G3(3\*2, 3\*4)와 G4(4\*2, 4\*4)에서 AMC를 적용하였을 경우 BER값을 고려하여 실제로 전송되는 데이터 용량을 비교한 것이다.

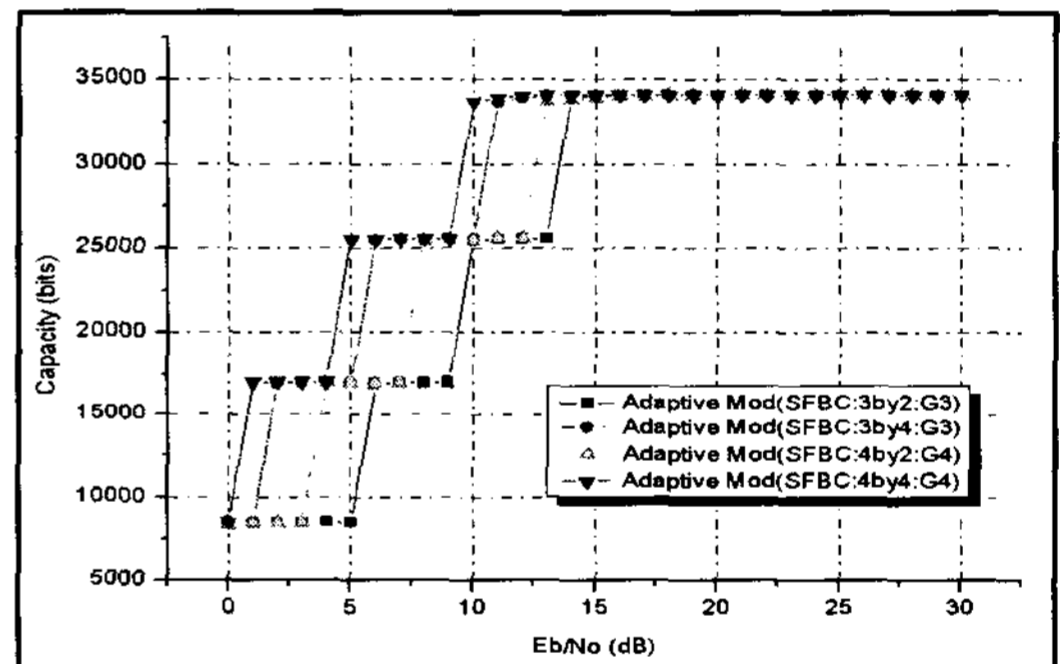


그림 8. AMC를 적용한 경우 SFBC-OFDM(G3)과 SFBC-OFDM(G4)의 성능 비교

Code rate=1/2 일 때 송신 안테나의 개수가 3개인 경우와 4개인 경우 전송 가능한 총 데이터의 용량은 같지만 송신 안테나의 개수가 많을수록, 수신 안테나의 개수가 많을수록 성능이 좋아짐을 볼 수 있다. 송신 안테나의 개수가 3개인 경우 5(dB) 근처에서 16QAM으로 변조가 가능하지만, 송신 안테나의 개수가 4개인 경우 1~2(dB)값 사이에서 이미 16QAM으로 변조가 가능하다고 볼 수 있다. 4가지 경우 모두 15(dB) 이하에서 256QAM으로 변조되어 최대의 데이터를 보낼 수 있음을 보여주고 있다.

[그림 9]는 SFBC-OFDM에서 H3(3\*2, 3\*4)와 H4(4\*2, 4\*4)에서 AMC를 적용하였을 경우 BER값을 고려하여 실제로 전송되는 데이터 용량을 비교한 것이다.

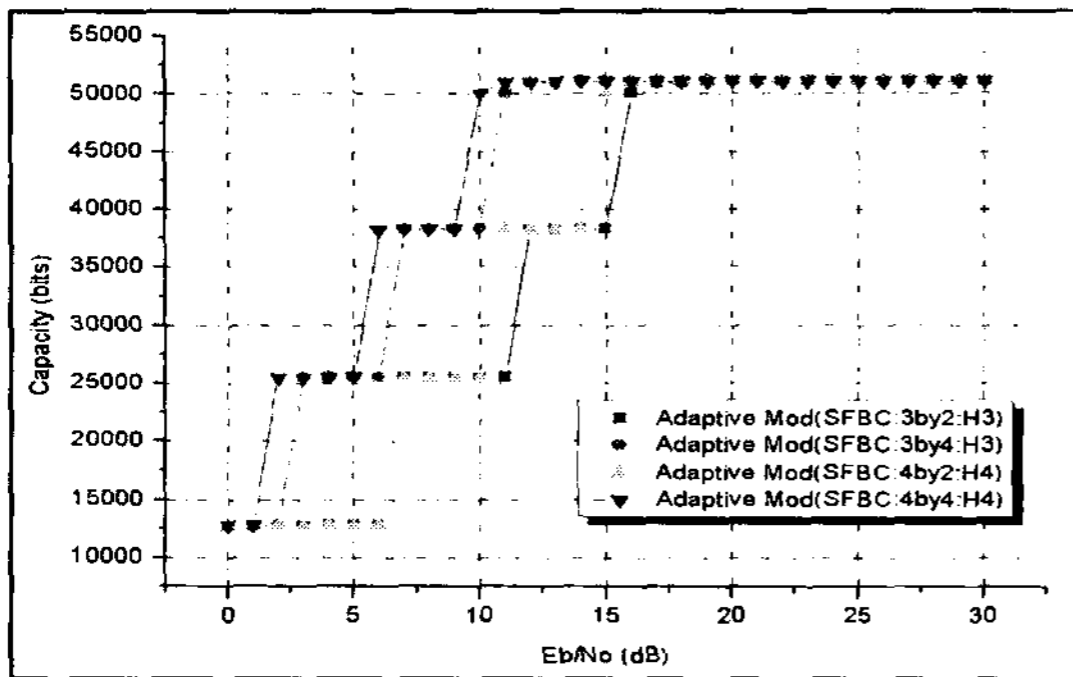


그림 9. AMC를 적용한 경우 SFBC-OFDM(H3)과 SFBC-OFDM(H4)의 성능 비교

Code rate=3/4 인 경우에도 송신 안테나의 개수가 3개인 경우와 4개인 경우 전송 가능한 총 데이터의 용량은 같지만, 송신 안테나의 개수가 많을수록, 수신 안테나의 개수가 많을수록 성능이 좋아짐을 볼 수 있다. Code rate=1/2 과 비교했을 때 채널 상태에 따라 변조 타입이 바뀌는 정도가 떨어지지만, 실제적으로 보내는 데이터의 용량은 하나의 주파수 대역에서 보내는 데이터 캐리어의 수가 많기에 더 많다고 볼 수 있다.

### V. 결론

본 논문은 물리 계층의 자원 할당 기법 중 AMC 기법을 시뮬레이션 과정을 통해 분석해보고, SISO-OFDM 과 SFBC-OFDM의 성능을 비교해 보았다. 실제로 전송하는 데이터 용량은 SISO와 SFBC가 비슷하지만, SISO에서 SFBC로 갈수록 SFBC에서도 송, 수신 안테나의 개수가 많아질수록 열악한 채널 환경에서도 더 많은 데이터를 보낼 수 있음을 보여주고 있다.

### 참고 문헌

[1] R. Van Nee, R. Prasad, "OFDM for Wireless multimedia Communication," Artech House, 1999.  
 [2] A. J. Paulraj, D. A. Gore, R. U. Nabar, H. Bolcskei,

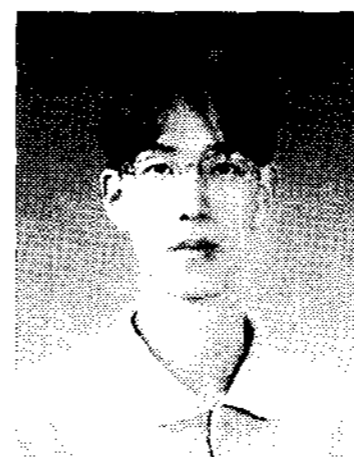
"An overview of MIMO communications - a key to gigabit wireless," Proceeding of the IEEE, pp.198-218, 2004(2).

[3] Q. Xiaoxin, K. Chawl, "On the performance of adaptive modulation in cellular systems," IEEE JNL, Vol.47, pp.884-895, 1999(6).  
 [4] K. W. Park, E. S. Choi, K. H. Chang, and Y. S. Cho, "A MIMO-OFDM technique for high-speed mobile channels," Vol.2, pp.980-983, 2003(4).  
 [5] G. Zhiheng, Z. Ping, H. Harada, "A Crosslayer Design with power control and AMC for Sub-band Based OFDM system," IEEE CNF, pp.1-6, 2006(10).  
 [6] A. J. Goldsmith, Chua, "Adaptive coded modulation for fading channels," IEEE Trans, Vol.46, pp.595-602, 1998(5).  
 [7] M. Torab, S. Aissa, M. R. Soleymani, "On the BER Performance of Space-Frequency Block Coding OFDM Systems in Fading MIMO Channels," IEEE Trans, Vol.6, pp.1366-1373, 2007(4).  
 [8] J. Yupeng, Y. Dongfeng, W. Dalei, "Performance comparison of STBC and SFBC in turbo coded OFDM systems," IEEE CNF, Vol.1, pp.185-188.

### 저자 소개

이윤호(Yun-Ho Lee)

준회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신과 졸업(공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석사 과정

<관심분야> : MIMO-OFDM, Resource Management

김 형 중(HyungJung Kim)

정회원



- 1993년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학학사)
- 1995년 8월 : 한양대학교 전자공학과(공학석사)
- 1995년 8월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 인지접속연구팀

<관심분야> : 이동통신 시스템, SDR 기술, Cognitive Radio 기술, 디지털 신호 처리

조 권 도(GD Jo)

정회원



- 1991년 2월 : 전남대학교 전자공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 전남대학교 전자공학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)
- 1994년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 인지접속연구팀 팀장/책임연구원

<관심분야> : 4G, 통신 시스템

김 경 석(Kyung-Seok Kim)

정회원



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야> : 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB