

# TDD-OFDM/OFDMA 기반의 차세대 이동 통신 시스템과 고정 위성서비스 지구국 간의 주파수 공유 분석

## Frequency Sharing of TDD-OFDM/OFDMA Based Systems beyond 3G with Fixed Satellite Service Earth Station

조 한 신 · 윤 현 구\* · 육 종 관

Han-Shin Jo · Hyun-Goo Yoon\* · Jong-Gwan Yook

### 요 약

본 논문에서는 TDD-OFDM/OFDMA(Time Division Duplex-Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 차세대 이동 통신 시스템과 고정 위성 지구국간의 주파수 공유 분석 결과를 제시하였다. 기존의 A-MCL을 이용하여 한 기의 차세대 이동 통신 기지국에 의한 간섭 전력을 평가하였다. 그리고 셀룰라 서비스를 가정한 다수의 기지국과 이동국에 의한 간섭은 확장된 A-MCL을 이용하여 평가하고 누적 밀도 함수(CDF)를 이용하여 확률적으로 분석하였다. 분석 결과를 통해 한 기의 기지국과의 공유를 위한 최소 이격 거리는 4~53.3 km임을 알 수 있었다. 또한 셀룰라 시스템인 경우 섹터 당 평균 20명의 사용자를 동시에 서비스할 때 기준 간섭치를 만족하는 기지국 간 거리는 6.5 km이고 이때 위성 지구국으로부터 가장 인접해 있는 기지국까지의 거리는 2.8 km임을 확인할 수 있었다.

### Abstract

In this paper, the frequency sharing issue between time division duplex-orthogonal frequency division multiplexing/orthogonal frequency division multiple access(TDD-OFDM/OFDMA) based systems beyond third generation(B3G) and Fixed Satellite Service(FSS) earth station has been studied. The conventional advanced minimum coupling loss(A-MCL) is adopted to assess the interference from a single base station(BS) of B3G systems. The aggregated interferences from base stations and mobile stations(MS) are evaluated by applying the extended A-MCL and analysed with a cumulative density function(CDF). The minimum distances that enable a single FSS earth station to sharing the frequency with a single BS are between 4 and 53.3 km. In the case of 20 MS per sector, the BS-to-BS distance and the minimum distance between a ES and BS are 6.5 and 2.8 km, respectively.

Key words : Earth Station, Fixed Satellite Service, Frequency Sharing, System beyond 3G(B3G), TDD-OFDM/OFDMA

### I. 서 론

국제전기통신연합 (ITU: International Telecommunication Union)은 차세대 이동 통신 시스템을 운용할 주파수 자원을 개발하기 위해 2003년 7월의 WRC-03

(World Radiocommunication Conference 2003)에서 IMT-2000 추가 개발 및 IMT-2000 이후의 시스템(systems beyond IMT-2000)을 위한 주파수 선정 검토를 차기 WRC-07 의제로서 결정하였다<sup>[1]</sup>. ITU-R WP8F는 IMT-2000 진화 시스템과 이후 시스템을 위해 이

연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

\*명지전문대학 컴퓨터전자과(Department of Computer and Electronic Engineering, Myongji College)

· 논문 번호 : 20060328-027

· 수정완료일자 : 2006년 5월 12일

동 상태에서 100 Mbps 데이터 속도를 제공할 수 있는 6 GHz 이하의 주파수 대역과 정지 상태에서 1 Gbps 데이터 속도를 제공할 수 있는 6 GHz 이상 70 GHz 이하의 주파수 대역에 대한 잠재적인 후보 대역을 조사하고 있다<sup>[2]</sup>. 현재 2 GHz 대역에는 IMT-2000 시스템이 서비스 중이기 때문에 이동성을 보장하는 IMT-2000 이후의 시스템을 위한 대역으로는 3~5 GHz가 유력한 후보로 제안되고 있다. 그러나 3~5 GHz 대역 중 3,400~4,200 MHz와 4,400~5,000 MHz 대역에는 방송 및 통신을 위한 육상 고정 서비스(FS: Fixed Service)와 고정 위성 서비스(FSS: Fixed Satellite Service)가 이미 운용되고 있다. 따라서 후보 대역 내의 기존 서비스의 보호를 위한 공유 분석이 선행되어야 IMT-2000 이후의 시스템을 위한 주파수 자원 개발이 가능할 것이다.

공유 분석을 위한 방법은 크게 Monte Carlo 시뮬레이션과 같은 확률·통계적인 방법과 MCL과 같은 결정적(deterministic) 방법으로 나뉜다. MCL은 주로 송신 스펙트럼 마스크(transmit spectrum mask)를 이용하여 대역내(in-band) 및 대역외(out-of-band)로 방사되는 신호의 크기로 간섭 전력을 비교적 쉽게 계산할 수 있는 방법이다. CEPT(Conference of European Postal and Telecommunications) ERC(European Radiocommunications Committee) Report 64<sup>[3]</sup>와 CEPT ERC Report 65<sup>[4]</sup>는 MCL 방법으로 UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)와 점-대-점(point-to-point) 고정 시스템과의 공유 분석에 대한 결과를 제시하였다. 그러나 기존의 MCL<sup>[4]</sup>은 송신 스펙트럼 마스크를 이용하므로 차세대 이동 통신 시스템에 사용될 것으로 예상되는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)<sup>[5]</sup> 기술을 적용한 시스템을 분석하기에는 적합하지 않다. OFDM을 적용한 시스템은 부반송파(subcarrier)의 전력을 각각 다르게 할당하여 전송할 수 있으므로 단순히 송신 스펙트럼 마스크만으로는 정확한 간섭량 계산이 어렵기 때문이다.

이와 같은 MCL의 단점을 극복하기 위해 송신 스펙트럼 마스크를 이용하지 않고 OFDM 신호의 전력 잡음 밀도를 이용하여 간섭 신호의 세기를 계산하는 Advanced-MCL(A-MCL) 방법이 제안되었으며 이를 통해 한 기의 차세대 이동 통신 지구국과 육상

고정 서비스 간의 공유 분석이 수행되었다<sup>[6][7]</sup>. 또한 다수의 간섭원에 의한 간섭 전력을 계산하기 위해 A-MCL을 확장하여 TDD-OFDMA(Time Division Duplex-Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 기반으로 하는 차세대 셀룰러 이동 통신 서비스와 육상 고정 서비스 간의 공유 연구도 수행되었다. 그러나 차세대 이동 통신 시스템을 위한 후보 대역을 선정하기 위하여 육상 고정 서비스뿐만 아니라 고정 위성 서비스와의 공유 분석 또한 반드시 수행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 연구<sup>[6][7]</sup>에서 제시한 간섭 전력 평가 방법을 이용하여 TDD-OFDMA를 기반으로 하는 차세대 셀룰러 이동 통신 서비스와 고정 위성 서비스 간의 공유 분석을 수행하였다.

본 논문에서는 두 가지 간섭 상황에 대해 공유 분석을 수행하였으며 이는 한 기의 차세대 이동 통신 지구국이 고정 위성 지구국에 간섭원으로 작용하는 경우와 셀룰러 형태의 분포를 갖는 다수의 차세대 이동 통신 지구국과 이동국이 고정 위성 지구국에 간섭원으로 작용하는 경우로 구분할 수 있다. 첫 번째 간섭 상황에 대한 분석을 위해 A-MCL을 이용하였으며, 확장된 A-MCL을 이용하여 두 번째 간섭 상황에 대한 분석을 수행하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 두 가지 간섭 상황에 대해 간섭 전력을 평가하는 방법과 허용 간섭 기준치에 대해 기술하고, III장에서는 제안된 방법으로 공유 분석을 하기 위한 주파수 공유 실험 과정 및 관련 파라미터를 제시하였다. 그리고 주파수 공유 실험 과정에 기반을 둔 동일 채널 공유 분석 결과를 IV장에 나타내었다. 마지막으로 본 논문의 결론과 향후 연구 방향을 V장에서 기술하였다.

## II. 간섭 모델

### 2-1 허용 간섭 기준치

두 시스템간의 주파수 공유가 가능하기 위해서는 간섭 신호에 의해 발생하는 피간섭원 시스템의 비트 에러 성능이 일정 기준 이상을 만족해야 한다. 따라서 성능 저하 기준을 만족하기 위해 간섭 전력의 허용 기준값  $I/N$ 을 결정하여야 한다. 그리고 피간섭원의 안테나에서 측정된 간섭 신호의 세기가 허

용 간섭 신호의 세기를 초과하는 시간이 총 관측 시간의  $p$  % 미만이어야 한다. ITU 권고안에서는  $p$ 의 크기가 20 % 이상인 경우를 장시간 간섭(long-term interference), 0.001~1.0 %인 경우를 단시간 간섭(short-term interference) 간섭으로 구분하여 각 경우에 대해 다른 허용 간섭 기준값을 적용하도록 하고 있다<sup>[8]</sup>. 뿐만 아니라 ITU 권고안<sup>[8]</sup>에서는 3~10 GHz 대역에서 위성 지구국을 위한 장시간 간섭 기준값으로 -10 dB를 이용하고 있다. 따라서 본 논문에서는  $I/N = -10$  dB를 이용하여 식 (1)과 같이 허용 간섭 기준치를 구하였다.

$$I_{\max} = N - 10 \quad (1)$$

위 식에서  $N$ 은 열잡음 전력으로 단위는 dBW이며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N = 10 \log_{10}(kTW_v) = -148.6 \text{ dBW/MHz} + 10 \log_{10} W_v \quad (2)$$

위 식에서  $k$ 는 볼츠만 상수이고  $T$ 는 시스템 잡음 온도이고 단위는 K,  $W_v$ 는 피간섭원의 수신 대역폭으로 단위는 MHz이다.

### 2-2 간섭 평가(한 기의 차세대 이동 통신 기지국에 의한 간섭을 고려하는 경우)

위성 지구국에 수신되는 간섭 전력은 식 (3)과 같이 계산할 수 있으며 단위는 dBW이다.

$$I_{\text{BSG}} = P_{\text{BS}} + G_{\text{BS}} + G_{\text{ES}} + L_r - PL \quad (3)$$

위 식에서  $P_{\text{BS}}$ 는 차세대 이동 통신 기지국의 송신 전력으로 단위는 dBW이고  $PL$ 은 dB 단위의 경로 손실을 나타낸다. 그리고  $G_{\text{BS}}$ 와  $G_{\text{ES}}$ 는 각각 차세대 이동 통신 기지국의 송신 안테나 이득과 위성 지구국의 수신 안테나 이득을 의미하여 단위는 dB이다.  $L_r$ 은 간섭원의 송신 전력  $P_{\text{BS}}$ 중 피간섭원의 대역 내에 위치하여 실제 간섭을 미치는 전력의 비율을 의미하며 OFDM 기반의 시스템에서는 송신 신호의 전력 밀도 스펙트럼을 이용하여 모델링할

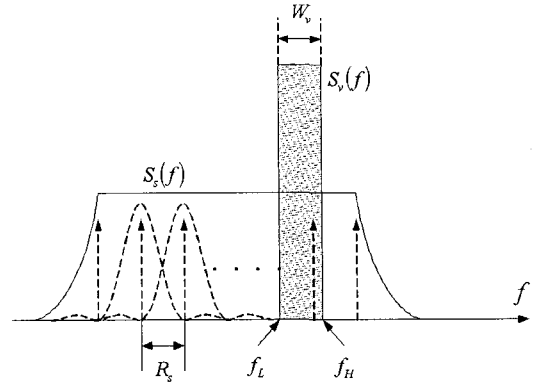


그림 1. OFDM에 기반을 둔 간섭원의 PSD와 피간섭원의 PSD

Fig. 1. PSD of OFDM-based systems and victim systems.

수 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 간섭원과 피간섭원의 전력 밀도 스펙트럼을 각각 싱크 함수와 구형파로 가정할 때  $L_r$ 은 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다<sup>[6],[7]</sup>.

식 (4)에서  $P_s$ 는 OFDM 부반송파 하나의 전력이고  $N$ 은 부반송파 수이며  $R_+$ 과  $R_-$ 는 각각 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$R_+ = \frac{f_c}{R_s} + \frac{W_v}{2R_s} \quad (5)$$

$$R_- = \frac{f_c}{R_s} - \frac{W_v}{2R_s} \quad (6)$$

위 식에서  $f_c$ 와  $W_v$ 는 피간섭 시스템의 중심 주파수와 대역폭이고,  $R_s$ 는 부반송파의 간격을 의미한다.

### 2-3 간섭 평가(다수의 차세대 이동 통신 기지국과 이동국에 의한 간섭을 고려하는 경우)

기존의 FDD 방식을 이용하는 셀룰러 이동 통신 시스템은 상향 링크와 하향 링크에 할당된 주파수 대역이 다르기 때문에 간섭 평가시 기지국에 의한 간섭과 이동국에 의한 간섭 분석을 개별적으로 수행하였다<sup>[9],[10]</sup>. 그러나 TDD 방식을 이용하는 셀룰러

$$L_r = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=0}^{N-1} \frac{P_s}{2\pi P_t} \left\{ \frac{1}{\pi(R_- - i)} - \frac{1}{\pi(R_+ - i)} - \frac{\cos 2\pi(R_- - i)}{\pi(R_- - i)} + \frac{\cos 2\pi(R_+ - i)}{\pi(R_+ - i)} + \frac{2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} [(2\pi(R_+ - i))^{2k-1} - (2\pi(R_- - i))^{2k-1}]}{(2k-1)(2k-1)!} \right\} \right] \quad (4)$$

이동 통신 시스템은 상, 하향 링크가 동일한 주파수를 이용하기 때문에 기지국과 이동국에 의한 간섭을 동시에 고려해야 한다. 따라서 위성 지구국에 수신되는 TDD-OFDMA 기반의 차세대 이동 통신 시스템의 간섭은 식 (7)과 같이 기지국과 이동국에 의한 간섭의 합으로 계산할 수 있으며 단위는 dBW이다.

$$I_{BSG} = 10 \log \left[ \alpha \sum_{b=1}^B I_{BS, b} + (1 - \alpha) \sum_{m=1}^M I_{MS, m} \right] \quad (7)$$

위 식에서 B3G는 beyond 3G를 의미하며 B와 M은 기지국 및 이동국의 총 수를 의미한다. TDD 시스템은 상향 및 하향 링크가 동일한 주파수를 이용하기 때문에 하나의 데이터 전송 프레임은 상향 및 하향 링크를 위한 부분으로 구성된다. 위 식에서  $\alpha$ 는 한 프레임 길이에 대한 하향 링크 프레임 길이의 비를 나타낸다.  $I_{BS, b}$ 와  $I_{MS, m}$ 는 b번째 기지국과 m번째 이동국이 야기하는 간섭 전력으로 단위는 W이며, 식 (8)과 식 (9)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$I_{BS, b} = 10^{(P_{t,b} + G_{t,b} + G_{r,b} + L_{r,b} - PL_b)/10} \quad (8)$$

$$I_{MS, m} = 10^{(P_{t,m} + G_{t,m} + G_{r,m} + L_{r,m} - PL_m)/10} \quad (9)$$

위 식에서  $P_{t,b}$ 와  $P_{t,m}$ 는 b번째 기지국과 m번째 이동국의 송신 전력이며 단위는 dBW이다.  $G_{t,b}$ 와  $G_{t,m}$ 는 b번째 기지국과 m번째 이동국의 송신 안테나 이득이고,  $G_{r,b}$ 와  $G_{r,m}$ 은 b번째 기지국 및 m번째 이동국에서 송출된 간섭 신호가 지상 고정 시스템에 수신하는 방향에 따른 수신 안테나 이득을 의미한다.  $PL_b$ 와  $PL_m$ 은 b번째 기지국 및 m번째 이동국에서 송출된 간섭 신호가 지상 고정 시스템에 도착하기까지 겪게 되는 경로 손실 값이다. 또한  $L_{r,b}$ 와  $L_{r,m}$ 은 b번째 기지국 및 m번째 이동국에서 송출된 간섭 전력에 대한 피간섭원 대역 내에 분포하는 간섭 전력의 비율을 의미하는 값으로서 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다.

### III. 공유 분석 과정

#### 3-1 주파수 공유를 위한 시스템 변수

FSS 위성 지구국의 시스템 변수는 표 1에 정리하였다. 지구국 시스템은 중심 주파수 3,500 MHz에서

표 1. FSS 지구국 시스템 변수  
Table 1. FSS earth station system parameters.

변수	값
중심주파수(MHz)	3,500
수신 대역폭(MHz)	9
변조방식	Digital
잡음 온도(K)	100
안테나 유형	Dish(Diameter: 27 meter)
안테나 높이(m)	50
최대 안테나 이득(dBi)	42.5
앙각 [deg] (지면과 주 빔 방향간의 각도)	43
허용가능한 장시간 최대 간섭 전력 (20 % of time, $I/N = -10$ dB) (dBW/9 MHz)	-150

9 MHz 대역폭을 가정하였으며 잡음 온도는 ITU 권고안<sup>[8]</sup>에 의거하여 100 K로 설정하였다. 안테나는 포물선 형태의 지향성 안테나(parabola-shaped directional antenna)로 직경은 27 m이고 최대 안테나 이득은 42.5 dBi로 안테나 직경(D) 대 파장( $\lambda$ )의 비가 100 이하인 경우의 안테나 이득을 그림 2에 나타내었다<sup>[11]</sup>. 최대 허용 간섭 전력은  $I/N = -10$  dB에 근거해서 식 (1)과 식 (2)를 통해 계산한 -150 dBW/

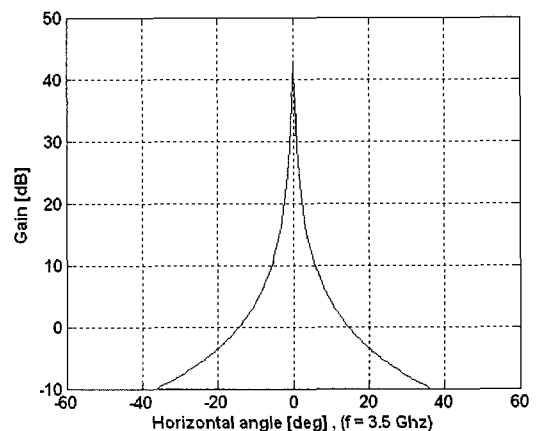


그림 2. 3.5 GHz에서 FSS 지구국 안테나 이득 ( $D/\lambda = 23.3$ , 최대 이득=42.5 dBi)  
Fig. 2. FSS earth station antenna gain at 3.5 GHz ( $D/\lambda = 23.3$ , max gain=42.5 dBi).

표 2. 차세대 이동 통신 시스템 변수

Table 2. B3G system parameters.

변수	값	
	기지국	이동국
중심 주파수(MHz)	3,500	3,500
다중화/다중접속	OFDM/OFDMA	
듀플렉스 방식	TDD	
부반송파 간격(kHz)	10.24	
하향, 상향 링크에 할당된 데이터 전송 시간 비(하향:상향)	2:1	
부채널 구조	BAND AMC (상향, 하향 링크)	
채널 대역폭(MHz)	80	0.4617
부반송파수	8,192	36
송신 전력(dBW)	13	-9 (전력 제어를 고려한 평균 송신 전력)
최대 안테나 이득(dBi)	14.5	-1
안테나 높이(m)	30	1.5
경로 손실 모델	Modified Hata	ITU-Vehicular

9 MHz로 나타나 있다.

위성 지구국 경우는 기존에 존재하는 시스템이므로 규격이 명확하나 차세대 이동 통신 시스템의 경우는 현재 확정된 내용이 없으므로 IEEE 802.16e에서 제시된 Wireless MAN-OFDMA 물리 규격을 기반으로 가정된 값을 사용하였으며 이를 표 2에 정리하였다<sup>[12]</sup>. 차세대 이동 통신 시스템의 대역폭은 80 MHz이며 중심 주파수는 3.5 GHz로 위성 지구국과 동일하게 가정하였는데, 이는 두 시스템의 대역폭이 완전히 중첩되는 경우를 살펴보기 위해 설정한 값이다. 그리고 기지국(base station)의 섹터별 안테나 수평 패턴은 식 (12)로 표현되며 그림 3에 이를 나타내었다<sup>[13]</sup>.

$$G_{BS}(\theta) = G_{max} + A_{BS}(\theta) \tag{10}$$

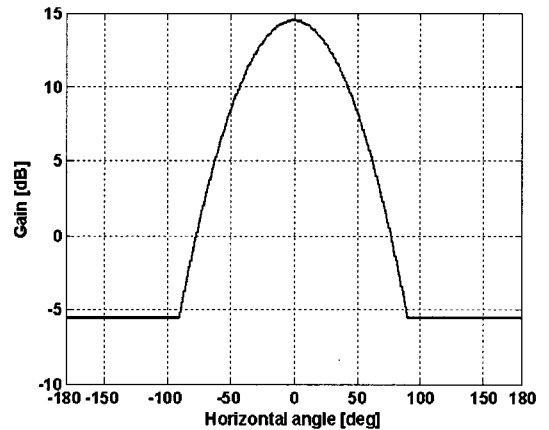
여기서  $G_{max}$ 는 최대 안테나 이득을 나타내며,  $A_{BS}(\theta)$ 는 각도에 따른 안테나의 감쇄값을 나타내는 함수로 식 (11)로 주어진다.

$$A_{BS}(\theta) = - \min \left[ 12 \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right],$$

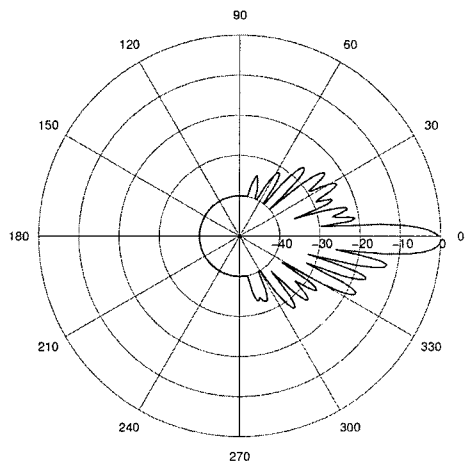
$$-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \tag{11}$$

$A_m$ 은 최대 안테나 감쇄량을 의미하고,  $\theta_{3dB}$ 는 3 dB 대역폭을 의미한다.  $\min[A, B]$ 는  $A$ 와  $B$ 중에서 작은 값을 의미하는 함수이다. 한편 그림 3은 기지국 섹터 안테나의 수직 패턴을 나타내고 3 dB 대역폭은 6 deg이다<sup>[14]</sup>.

경로 손실 모델은 한 기의 기지국에 의한 간섭을 고려하는 경우 클러터 손실(clutter loss)을 고려한 자유 공간 모델<sup>[15]</sup>을 적용하였다. 그리고 다수의 기지국과 이동국으로부터 발생하는 간섭의 경로 손실을



(a) 수직 방사 패턴  
(a) Vertical



(b) 수평 방사 패턴  
(b) Horizontal

그림 3. 3-섹터 셀을 위한 차세대 이동 통신 시스템의 안테나 이득

Fig. 3. B3G system antenna pattern for 3-sector cells.

고려하기 위해 Modified Hata 모델<sup>[16]</sup>과 ITU-Vehicular 모델<sup>[17]</sup>을 이용하였다.

### 3.2 주파수 공유 실험

그림 4는 시뮬레이션 과정을 나타내며 차세대 이동 통신 기지국과 이동국이 발생하는 간섭 신호의 세기를 평가하는 과정이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 차세대 이동 통신 시스템의 셀은 2-tier까지 고려하였으며, 각 셀은 3-섹터로 구성된다. 따라서 총 19개의 셀이 존재하고 각 셀의 중심에는 세 개의 섹터 기지국이 존재하며 셀의 크기는 기지국간의 거리를 의미하는 변수를 이용해 결정한다. 또한 그림 5에서 각 기지국마다 표시되어 있는 세 개의 화살표는 각 섹터 안테나의 메인 빔 방향이며 각 섹터 안테나는 120°의 간격으로 각 섹터를 커버한다. 이동국은 각 섹터 내에 균일하게 분포시키며 섹터 당 이동국 수를 의미하는 변수를 통해 결정한다. 정사각형으로 표기된 ES에 표시되어 있는 긴 화살표는 육상 고정 시스템 안테나의 메인 빔 방향이다. 위성 지구국은

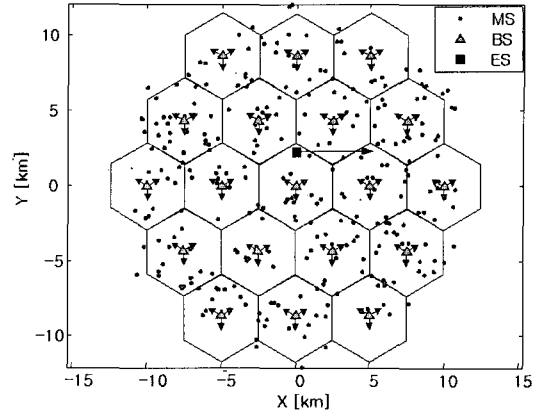


그림 5. FSS 지구국(ES) 및 차세대 시스템 기지국(BS)과 이동국(MS)의 위치 결정

Fig. 5. Distribution of FSS earth station, B3G system BS, and B3G system MS.

중심 셀 내에 위치하고 좌표는  $(0, \frac{\sqrt{3}}{4}R)$ 이며  $R$ 은 기지국간의 거리를 의미한다.

OFDMA 시스템에서 동일 섹터 내의 이동국은 각각 다른 부반송파를 통해 데이터를 기지국으로 전송하기 때문에 차세대 이동 통신 시스템의 대역폭에 비해 피간섭원의 대역폭이 좁은 경우 일부의 이동국만 간섭원으로 작용하게 된다. 이와 같은 상황을 고려하여 위치가 결정된 이동국에 대해 상향링크 대역을 균일하게 할당한다. 섹터 내의 모든 이동국에 대해 동일한 수의 부반송파를 균일하게 할당시켜 피간섭원과 동일 대역 내에 위치하는 이동국의 신호만을 고려하여 간섭량을 평가한다. 간섭량의 계산을 위해 II장에서 제시한 식 (7)을 이용하고 시스템 변수는 표 1과 표 2의 값을 이용하였다. 이동국의 위치에 따라 간섭량은 변하기 때문에 보다 정확한 예측을 위해 위의 과정을 반복 수행하여 간섭량을 확률적으로 계산한다.

## IV. 실험 결과

### 4.1 한 기의 차세대 이동 통신 기지국에 의한 간섭을 고려하는 경우

식 (3)을 이용하여 구할 수 있는 간섭 전력은 간섭원과 피간섭원 간의 거리에 의해 변한다. 따라서 최대 허용 간섭 기준치를 만족하기 위해 간섭원과 피

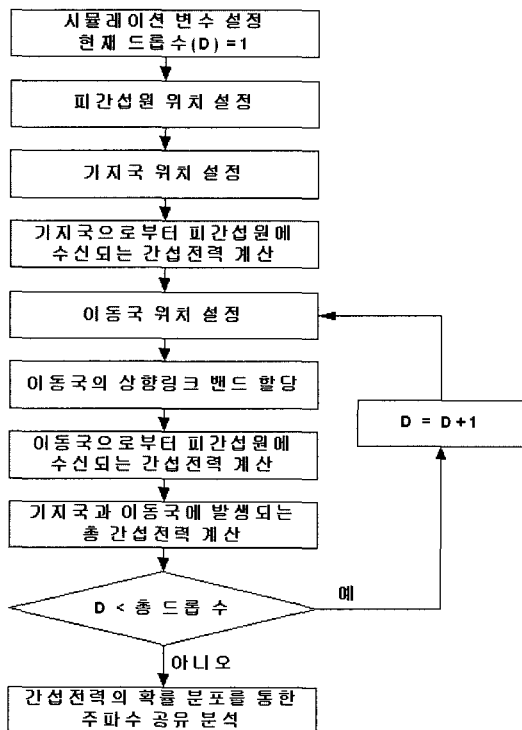


그림 4. 시뮬레이션 흐름도

Fig. 4. Simulation flow.

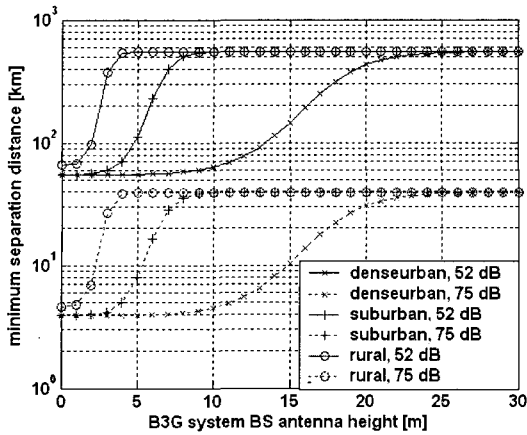


그림 6. 차세대 시스템의 안테나 높이에 따른 최소 이격 거리  
 Fig. 6. Minimum separation distance for the antenna height of B3G systems.

간섭원 간의 거리를 조정하여 최소 이격 거리를 산출할 수 있다. 그림 6은 dense urban, sub-urban, rural 환경에서 차세대 이동 통신 기지국 안테나 높이에 따른 최소 이격 거리를 나타낸다. 기지국 안테나의 높이가 증가함에 따라 클러터 손실이 감소하기 때문에 결과적으로 최소 이격 거리는 증가하게 된다. 또한 안테나의 높이가 클러터 높이보다 큰 경우 안테나 높이가 증가하여도 클러터 손실은 더 이상 증가하지 않기 때문에 최소 이격 거리 또한 일정한 값을 갖게 된다. Dense urban, suburban, rural 환경의 클러터 높이는 20, 9, 4 m이므로 그림 6에서 기지국 안테나 높이 20, 9, 4 m 지점을 기준으로 최소 이격 거리가 일정한 값을 보이는 현상을 관찰할 수 있다. 한편 간섭 신호의 도착각과 출발각에 따라 안테나 편향 손실(antenna discrimination attenuation)이 결정되고 이에 따라 동일한 클러터 손실에 대한 최소 이격 거리가 변한다. 출발각은 간섭원 송신 안테나의 메인 빔 방향과 간섭 신호의 방향 간의 사이 각을 의미하며 도착각은 피간섭원 수신 안테나의 메인 빔 방향과 간섭 신호의 방향 간의 사이 각을 의미한다. 그림 6에는 안테나 편향 손실이 52, 75 dB로 증가함에 따라 최소 이격 거리가 감소하는 현상이 나타난다. 그림 2와 3의 기지국 및 위성 지구국 안테나 이득을 고려할 때 수평 또는 수직 도착각이 36° 이상이고 기지국에서 수평 및 수직 출발각이 0°

일 때 안테나 편향 손실은 52 dB이다. 또한 수평 또는 수직 도착각이 36° 이상이고 출발각은 수평으로 90° 이상이거나 수직으로 10° 이상일 때 안테나 편향 손실은 75 dB이다.

그림 7에서는 클러터 손실과 간섭 신호의 출발각이 결정되고 수직 도착각 ( $\theta_{ES}$ )이 0°일 때, 도착각의 크기에 따른 최소 이격 거리 결과가 제시되어 있다. 수평 도착각 ( $\phi_{ES}$ )이 증가함에 따라 위성 지구국 시스템의 안테나 이득이 감소하기 때문에 간섭 신호의 세기는 감소하게 된다. 그림 7의 결과에서  $\phi_{ES}=0^\circ$ 일 때 최소 이격 거리는 1,000~100,000 km이지만 위성 지구국 안테나의 지면을 기준으로 한 양각이 43°이므로 실제로 존재할 수 없는 상황이다.  $\phi_{ES} \geq 36^\circ$ 일 때 수신 안테나의 편향에 의한 안테나 편향 손실은 최대 52.5 dB이고 이 때 최소 이격 거리는 4~53.3 km의 분포를 갖는다. 출발각에 의한 안테나 편향 손실이 20 dB 이상이기 위해서는 수평 출발각 ( $\phi_{BS}$ )이 90° 이상이어야 하지만 수직 방사 패턴을 고려할 경우 수직 출발각 ( $\theta_{BS}$ )이 6° 이상만 되어도 20 dB 안테나 편향 손실이 발생할 수 있다. 특히 차세대 이동 통신 기지국 안테나의 틸팅(tilting)을 고려할 경우 출발각에 의한 안테나 편향 손실은 충분히 20 dB 이상일 수 있다. 또한 위성 지구국 안테나의 지면 기준 양각이 43°이므로 수직 도착각은 항상 36° 이상을 유지할 수 있기 때문에

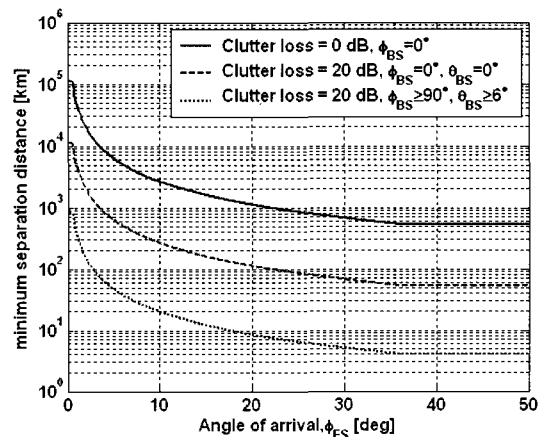


그림 7. 간섭 신호의 도착각에 따른 최소 이격 거리 ( $\theta_{ES}=0^\circ$ )  
 Fig. 7. Minimum separation distance for the angle of arrival of interfering signal ( $\theta_{ES}=0^\circ$ ).

표 3. 클러터 손실 및 안테나 편향 손실에 따른 최소 이격 거리

Table 3. Minimum separation distance for different clutter loss and antenna discrimination loss.

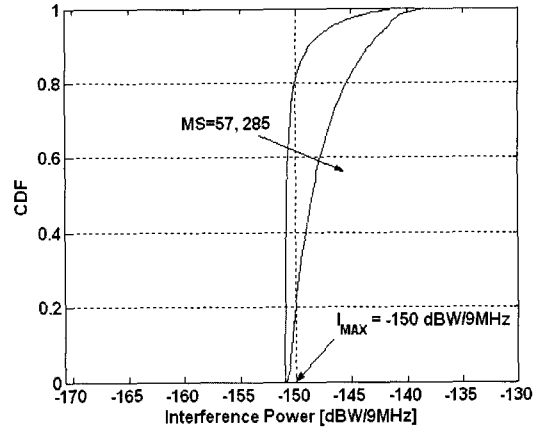
클러터 손실 (dB)	안테나 편향 손실 (dB)	최소 이격 거리 (km)
0	52.5	533
0	75	40
20	52.5	53.3
20	75	4

수평 도착각의 크기에 관계없이 50 dB 이상의 간섭 신호의 감쇠 효과를 기대할 수 있다. 따라서 간섭 신호의 도착각이 36° 이상이 되도록 차세대 이동 통신 기지국의 위치를 조정하지 않아도 최소 이격 거리의 보장이 가능하다.

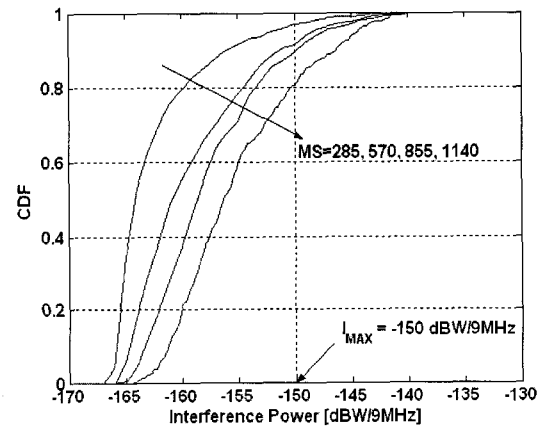
표 3에는 클러터 손실과 안테나 편향 손실에 대한 최소 이격거리가 정리되어 있다. 클러터 손실과 안테나 편향 손실을 모두 고려하여 총 95 dB 이상의 간섭 신호 감쇄가 발생하는 환경에 대해 최소 이격 거리는 4 km 미만의 값을 보임을 확인할 수 있다.

#### 4-2 다수의 차세대 이동 통신 기지국과 이동국에 의한 간섭을 고려하는 경우

이동국 수에 따른 간섭 전력의 변화를 고려하기 위해 이동국 수를 57(1), 285(5), 570(10), 855(15), 1,170(20)로 변화시키며 각 경우에 대해 1,000번의 반복 수행을 통해 간섭 전력의 확률적인 분포를 분석하였다(괄호안의 수는 섹터 당 평균 이동국 수). Modified Hata 모델을 적용했을 때 기지국 간격과 이동국 수에 따른 간섭 전력의 분포는 그림 8을 통해 제시하였다. 결과 그림에 제시된 이동국의 수 (MS)는 총 57개 섹터 내에 존재하는 이동국 수를 의미한다. 따라서 MS 값을 57로 나눈 값이 섹터 당 평균 이동국 수를 의미한다. 그림 8(a)를 통해 기지국 간의 거리(R)가 2.35 km일 때에는 섹터 당 평균 1명의 이동국이 분포할 경우 허용 간섭량을 초과하지 않을 확률이 80% 이상인 반면 섹터 당 평균 5명만 분포하여도 허용 간섭량을 초과하지 않을 확률이 20%까지 감소하여 공유가 가능하지 않음을 알 수 있다. 이와 같이 섹터 당 5명만 분포하여도 공유



(a) R=2.35 km



(b) R=6.5 km

그림 8. 차세대 이동 통신 기지국과 이동국에 의해 발생하는 간섭 전력의 분포

Fig. 8. CDF of the interfering signal power from BS and MS of B3G system.

가 불가능한 이유는 이동국에 의한 간섭이 매우 작아도 위성 지구국과 기지국간의 거리가 가까워 기지국에 의한 간섭이 매우 크기 때문이다. 그림 8(b)는 기지국 간의 거리가 6.5 km일 때의 간섭 전력의 분포를 나타낸다. 이동국의 수가 1,140(섹터 당 평균 이동국 수: 20)일 때 기준치보다 간섭 전력이 낮을 확률은 80%이므로 기지국 간의 거리가 6.5 km 이상이면 섹터 당 평균 20명의 사용자가 동시에 서비스를 받아도 장시간 간섭 허용 기준을 만족한다.

간섭 기준치 -150 dB/9 MHz는 기준치보다 높은 간섭 전력이 수신되는 시간이 총 관찰 시간의 20% 미만이기 위한 값이다. 따라서 그림 8에 제시된 기



지국간의 거리에 따른 간섭 전력의 CDF(Cumulative Density Function) 결과를 이용하여 간섭 전력이 허용기준치 이상일 확률이 20 % 미만이기 위한 최소 기지국 간격을 도출할 수 있다. 예를 들어 그림 8(a)에서 간섭 전력이 -150일 때 이동국 수 57에 대한 CDF는 0.8이다. 이는 간섭 전력이 허용 간섭 전력보다 클 확률이 20 %임을 의미하며 이때 기지국간의 거리 2.8 km가 표 4의 ‘기지국간의 최소 거리’이고 중심 기지국으로부터 위성 지구국까지의 거리가 표 4의 ‘위성 지구국과 차세대 이동 통신 기지국간의 최소 거리’를 의미한다. 표 4의 결과로부터 섹터당 이동국 수가 1일 때 간섭 기준치를 만족하기 위한 기지국간의 최소 거리는 2.35 km이고 위성 지구국으로부터 가장 인접하여 위치한 기지국까지의 거리는 1.01 km임을 알 수 있다. 또한 섹터당 이동국 수가 20일 때 간섭 기준치를 만족하기 위한 기지국간 최소 거리는 6.5 km이며 위성 지구국으로부터 가장 인접하여 위치한 기지국까지의 거리는 2.8 km임을 알 수 있다. 따라서 기지국간의 거리가 동일한 2-tier 셀 모델을 가정할 때 기지국간의 거리가 6.5 km 이상이고 위성 지구국과의 최소 거리가 2.8 km 이상일 때 섹터당 평균 20명에 대한 차세대 이동 통신 서비스와 동일 대역 위성 서비스간의 공유

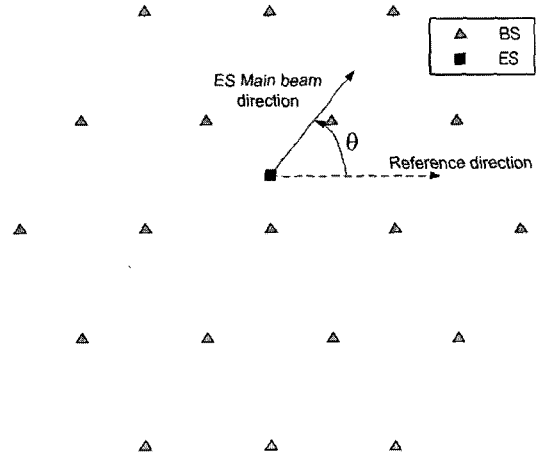


그림 9. 셀룰라 차세대 이동 통신 서비스 지역에 위치하는 위성 지구국의 주 빔 방향  
 Fig. 9. Main beam direction of the earth station deployed in the area of B3G cellular systems.

가 가능할 것으로 예상할 수 있다.

위성 지구국의 안테나는 방사 방향에 따른 이득의 변화가 최대 52.5 dB로서 변화가 매우 심하다. 따라서 위성 지구국의 안테나 방향에 따른 간섭 전력에 대한 분석을 하였다. 그림 9는 위성 지구국의 위치와 안테나 방향 및 차세대 이동 통신 기지국의 분포를 나타낸다. 위성 지구국의 안테나 방향은  $\theta$ 로 표기하였다. 그림 10은  $\theta$ 에 따른 차세대 이동 통

표 4. 간섭 전력이 간섭 기준치 미만일 확률이 80 %이기 위한 차세대 이동 통신 시스템 기지국간 최소 거리

Table 4. Minimum BS-to-BS distances, satisfying that the probability that interfering signal power is less than the permissible interference power is 80 %.

총 이동국 수	섹터당 평균 이동국 수	간섭 전력이 간섭 기준치 미만일 확률이 80 %일 때 차세대 이동 통신 시스템 기지국간 최소 거리(km)	위성 지구국과 차세대 이동 통신 기지국간의 최소 거리(km)
57	1	2.35	1.01
285	5	3.4	1.5
570	10	4.7	2.04
855	15	5.7	2.5
1,140	20	6.5	2.8

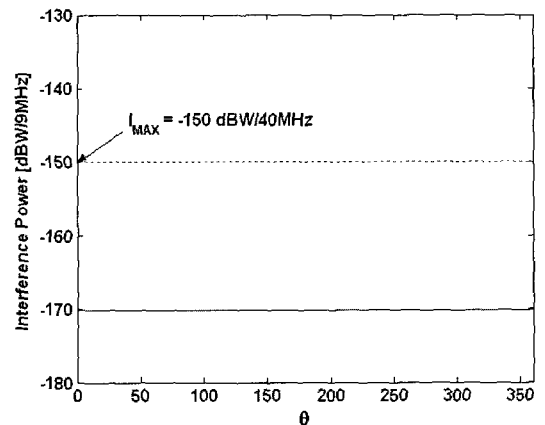


그림 10. 위성 지구국 안테나의 주 빔 방향에 따른 차세대 이동 통신 기지국에 의해 발생하는 간섭 전력의 변화

Fig. 10. Interfering signal powers with respect to the main beam direction of earth station.

신 기지국에 의한 간섭 전력을 나타낸 것이며 식 (7)에서  $\alpha=1$ 로 설정하여 계산할 수 있다. 그림 10의 결과를 통해 기지국간의 거리가 5 km인 환경에서  $\theta$ 의 변화에 관계없이 간섭 전력의 세기는  $-170$  dBW/9 MHz로 일정함을 할 수 있다.  $\theta$ 의 변화에 따른 간섭 전력이 일정하게 유지되는 것은 위성 지구국의 지면 기준 양각이  $43^\circ$ 이므로  $\theta$ 가 변하여도 위성 지구국에서 수신되는 간섭 신호의 수직 도착각은 항상  $43^\circ$  이상을 유지하므로 간섭 신호는 최소 52.5 dB의 감쇄를 겪고 수신되기 때문이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 OFDM/OFDMA 기반의 차세대 이동 통신 서비스와 고정 위성 서비스와의 주파수 공유 분석을 위해 차세대 이동 통신 시스템에 의해 발생하는 간섭 전력을 계산하였다. A-MCL을 이용하여 한 기의 차세대 이동 통신 기지국에 의한 간섭 전력을 계산하였으며, 확장된 A-MCL을 이용하여 TDD-OFDMA 기반의 차세대 셀룰러 이동 통신 시스템을 구성하는 다수의 기지국과 이동국으로부터 발생하는 간섭 전력을 계산하였다. 한 기의 기지국에 의한 간섭을 고려하는 경우 클러스터 손실이 20 dB일 때 최소 이격 거리는 4~53.3 km임을 알 수 있었다. 그리고 섹터당 평균 이동국 수와 기지국 간의 간격을 변화시키며 간섭 전력을 평가한 결과 섹터당 평균 20명의 사용자를 동시에 서비스하는 경우에 기준 간섭치를 만족하는 기지국간 거리는 최소 6.5 km이고, 이때 육상 고정 시스템으로부터 가장 인접해 있는 기지국까지의 거리는 2.8 km임을 관찰할 수 있었다. 또한 위성 지구국 안테나의 수평 방향을 변화시키며 간섭 전력을 평가하여 위성 지구국 안테나의 양각이  $43^\circ$ 이므로 수신되는 간섭 신호의 수직 도착각은 항상  $43^\circ$  이상을 유지하기 때문에 안테나의 방향에 관계없이 간섭 전력은 일정함을 확인하였다. 본 논문의 결과를 바탕으로 위성 지구국의 안테나 방향과 차세대 이동 통신 기지국 간격 및 섹터 당 이동국 수를 적절히 조절할 경우 두 서비스 간의 주파수 공유가 가능할 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] ITU-R Recommendation M. 1645, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000", Jun. 2003.
- [2] ITU-R WP 8F/TEMP/209-E, "Preliminary draft new report on radio aspects for the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000", Feb. 2005.
- [3] CEPT ERC Report 64, "Frequency sharing between UMTS and existing fixed services", May 1999.
- [4] CEPT ERC Report 65, "Adjacent band compatibility between UMTS and other services in the 2 GHz band", May 1999.
- [5] R. Nee, R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, Boston, 2000.
- [6] Han-Shin Jo et al., "The coexistence of OFDM-based systems beyond 3G with fixed service microwave systems", *Journal of Communications and Networks Special Issue on Spectrum Resource Optimization Accepted for Publication*, Jun. 2006.
- [7] 정우기 외, "차세대 이동 통신 시스템의 주파수 공유분석을 위한 개선된 MCL 방법", *한국전자학회논문지*, 17(3), pp. 307-316, 2006년 3월.
- [8] ITU-R Recommendation SF.1006, "Determination of the interference potential between earth stations of the fixed-satellite service and stations in the fixed service", Apr. 1993.
- [9] Dipl.-Ing., Dirk Poppen, "Spectrum sharing between a fixed-service microwave system and a cellular CDMA mobile radio system", in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC1993)*, pp. 564-567, May 1993.
- [10] ITU-R Document 8F/TEMP/232, "Draft report on the coexistence between IMT-2000 TDD and FDD radio interface technologies operating in adjacent bands and in the same geographical area", Mar. 2002.
- [11] ITU-R Recommendation SM.1448, "Determination of the coordination area around an earth station in the frequency bands between 100 MHz and 105 GHz", May 2000.

- [12] IEEE802.16e/D9, "Draft IEEE standard for local and metropolitan area networks. Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems", Jun. 2005.
- [13] NOKIA, "1xEV-DV Evaluation Methodology (V1-2.1)", 3GPP2/TSG-C.R1002, 2003.
- [14] Jarno Niemela, "Impact of base station site and antenna configuration on capacity in WCDMA cellular networks", Master of Science Thesis, Tampere University of Technology, Feb. 2003.
- [15] ITU-R Recommendation P.452-12, "Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the earth at frequencies above about 0.7 GHz", Mar. 2005.
- [16] COST Action 231, "Digital mobile radio towards future generation systems, final report", *Tech. Rep.*, European Communities, EUR 18957, 1999.
- [17] ITU-R Recommendation M.1225, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000", Feb. 1997.

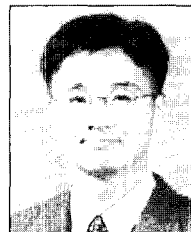
조 한 신



2001년 8월: 연세대학교 기계전자공학부 (공학사)  
 2004년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
 2004년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 공유 분석, 무선 통신

채널 모델링, Resource Allocation for Multiuser MIMO/OFDM systems

육 중 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1998년: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)  
 1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer  
 1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수  
 2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 부교수  
 [주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조

윤 현 구



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)  
 2002년~2004년: (주)현대시스콤 선

임연구원

2004년~현재: 명지전문대학 컴퓨터전자과 조교수  
 [주 관심분야] 디지털통신, 무선전송기술