

논문 2004-41TC-7-3

# 링크 레벨 시뮬레이션과 시스템 레벨 시뮬레이션에 의한 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 시스템 간의 상호간섭분석

(Interference Investigation between WCDMA TDD System and  
cdma2000 System by Link-level Simulation and System-level  
Simulation )

차 인 석\*, 장 경 희\*\*, 김 성 진\*\*\*, 최 용 석\*\*\*

(In-Suk Cha, KyungHi Chang, SungJin Kim, and Yong-seok Choi)

## 요 약

WCDMA TDD 시스템의 Capacity는 주로 간섭에 의하여 제한되기 때문에, WCDMA TDD 시스템내의 간섭뿐만 아니라 인접 셀 간섭, 그리고 cdma2000 시스템과의 상호 간섭 효과를 최소화 하여야 만이 WCDMA TDD 시스템의 기대용량을 얻을 수 있고, 현재 사용하고 있는 cdma2000 시스템과의 상호간섭을 최소화 할 수 있다. 본 논문에서는 3GPP TR 25.942 를 토대로 보다 정확한 파라미터를 사용하고, 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 시스템 간의 상호간섭을 다양하고 실질적인 상황 하에서 해석하고, 또한 링크레벨을 고려한 시스템 레벨 시뮬레이션 결과로부터 두 시스템 간의 상호간섭을 분석한다. 시뮬레이션 결과로부터 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 시스템 간 상호간섭을 고려한 시스템 용량의 최적화를 위한 조건을 제시한다.

## Abstract

The capacity of WCDMA TDD system is limited mainly by the interference. So, to achieve the expected performance of WCDMA TDD system and to minimize the interference to cdma2000 system, interferences, such as interference within WCDMA TDD system, inter-cell interference, and interferences between cdma2000 systems, should be considered carefully. In this paper, by using System-level Simulation, we analyzed the interferences between WCDMA TDD system and cdma2000 system in practical situation based on the exact parameters of 3GPP TR 25.942 and by using System-level Simulation considering Link-level we analyze the interferences between WCDMA TDD system and cdma2000 system. From Simulation Results, we propose the condition for optimizing system capacity considering the interferences between WCDMA TDD system & cdma2000 system

**Keywords:** Interference, WCDMA TDD system, cdma2000 FDD system, System-level Simulation, Capacity

## I. 서 론

국내에서 3세대 이동통신 IMT-2000시스템 전개형태는 외국의 경우와는 달리 이미 사용되고 있는 동기식 cdma2000 FDD 시스템과 함께 지난해 말부터 비동기식

WCDMA 시스템의 상용화가 시작되었다. WCDMA TDD 방식은 경우에 따라 Unpaired Band 로 확장된 대역에 전개될 수도 있을 것으로 예상된다.

무선 인터넷 서비스와 같은 하향링크 트래픽 양이 상향링크 트래픽 양에 비하여 상대적으로 높은 상하향 비대칭 트래픽 시나리오 하에서는, 이를 효율적으로 수용할 수 있는 TDD 방식이 전반적인 데이터의 전송능력을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 TDD 방식은 특유의 간섭현상에 기인하여 TDD 시스템 자체 용량뿐만 아니라 인접한 FDD 시스템의 용량에도 영향을 미치

\* 학생회원, \*\* 정회원, 인하대학교 정보통신대학원  
(The Graduate School of Information Technology  
& Telecommunications, Inha University)

\*\*\* 정회원, 한국전자통신연구원  
(ETRI)

접수일자: 2004년2월23일, 수정완료일:2004년7월13일

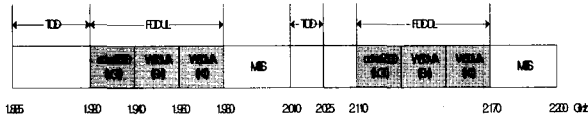


그림 1. 국내 IMT-2000 주파수 할당  
Fig. 1. Internal IMT-2000 frequency allocation.

게 된다. 본 논문은 이러한 TDD 시스템과 FDD 시스템 간의 상호간섭효과 연구를 기초로 하여 WCDMA TDD 방식과 cdma2000 FDD 방식 간의 간섭을 최소화하고 용량을 극대화하기 위한 요구사항을 정립한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장과 III장에서는 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템의 특성분석과 간섭모델을 고찰하고, IV장에서는 본 논문에서 채택한 간섭 분석 시스템 레벨 시뮬레이션 환경에 대하여 논한다.<sup>[1]</sup> V장과 VI장에서는 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템 간섭 분석 시뮬레이션과 링크레벨을 고려한 2-Cell 시스템 레벨 간섭 분석 시뮬레이션 결과를 분석하고, VII장에서는 시뮬레이션 결과의 활용에 대해서 논하였다. 마지막으로 VIII장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

## II. WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템의 특성 분석

cdma2000 FDD 시스템의 간섭 모델을 설정하기 위한 SINR은 식 (1)과 같다.

$$SINR = \frac{G_P \cdot S}{I_{SC} + I_{OC} + I_{OF} + I_N} \quad (1)$$

여기서  $G_P$ 는 Processing Gain,  $S$ 는 원하는 사용자 신호의 수신전력,  $I_{SC}$ ,  $I_{OC}$ ,  $I_{OF}$ 는 각기 동일 셀 간섭, 인접 셀 간섭, 인접대역 간섭,  $I_N$ 은 수신기의 열잡음을 나타낸다.

### 1. cdma2000 FDD DL (Down Link)

일반적으로 cdma2000 FDD DL 시스템에서 Walsh Sequence 와 같은 직교코드를 사용하여 Channelization 을 수행하기 때문에 이상적으로는 각 채널이 상호 직교성을 유지하여 동일 셀 간섭이 발생하지 않는다. 그러나, 실제적인 이동통신 전송채널 환경 하에서는 기지국에서 송신된 신호가 다중경로 페이딩 채널을 거쳐 이동국에 수신되기 때문에 직교코드에 의한 직교성이 훼손

되어 동일 셀 간섭이 발생하며, 이러한 이유로 DL (Down Link)에서의 동일 셀 간섭을 다중 경로 간섭으로 취급하기도 한다.

1 번째 다중경로에 대한 동일 셀 간섭 전력  $I_{SC,i}$ 은 직교 코드의 직교성에 의하여 다중경로의 총수를  $L$ 이라고 하였을 때, 식 (2)와 같이 표현된다.

$$I_{SC,i} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^L S_{SC,k} = S_{SC,R} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^L \beta_k = S_{SC,R} (1 - \beta_i) \quad (2)$$

여기서,

$S_{SC,i}$ 는 1번째 다중경로를 통하여 수신된 신호의 전력,  $S_{SC,R}$ 는 Pilot Channel과 같은 Common Channel과 Home Cell 내 모든 사용자로의 Traffic Channel 전력을 포함한 총 수신 전력,  $\beta = S_{SC,i} / S_{SC,R}$ ,  $\alpha = S / S_{SC,R}$ 이다.

따라서 식 (1)은 DL 에서 식 (3)과 같이 된다.

$$SINR = \frac{S}{I_{SC} + I_{OC} + I_{OF} + I_N} = \frac{\sum_{i=1}^L \alpha \beta_i S_{SC,R}}{\sum_{i=1}^L S_{SC,R} (1 - \beta_i) + I_{OC} + I_{OF} + I_N} \quad (3)$$

다중경로에 의하여 손상되는 직교성 (Orthogonality Factor)을 나타내기 위하여 위의 결과를 다음과 같이 변형한다.

$$I_{SC} = \frac{1}{1/I_{SC}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^L \frac{\beta_i}{S_{SC,R} (1 - \beta_i)}} = \frac{S_{SC,R}}{\sum_{i=1}^L \frac{\beta_i}{(1 - \beta_i)}} = (1 - \zeta) S_{SC,R} \quad (4)$$

여기서,  $(1 - \beta_i)$ 은 다중경로에 의하여 손상되는 직교성을 나타내며, 직교성  $\beta_i$ 은 식 (5)로 나타내어진다.

$$\zeta = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^L \frac{\beta_i}{(1 - \beta_i)}} \quad (5)$$

$L = 1$ 인 경우 (즉,  $\beta_i = 1$ ),  $\zeta = 1$ 로 되어 완전한 직교성이 유지되며, 따라서 동일 셀 간섭이 발생하지 않는다.

CDMA FDD 시스템에서는 이론적으로 모든 셀이 동일 할당 주파수 대역 ( $f_a$ )을 사용할 수 있기 때문에, 인접 셀 간섭에는 모든 인접 셀의 기지국 송신전력이

포함되고, 각 인접 셀로부터의 송신 신호 간 상호 직교성을 유지시킬 수 없으므로 동일 셀 간섭의 경우와는 다르게 직교성을 고려할 필요가 없다.

비이상적인 송수신 필터 특성과 비선형적인 능동 소자 등의 특성에 의하여 인접한 다른 주파수 대역을 사용하는 무선 통신 시스템에 미치는 간섭을 인접대역 간섭이라고 하며, 일반적으로 ACP (Adjacent Channel Power/Protection) 로 나타낸다. WCDMA 시스템에서 이러한 인접대역 간섭을 정의하기 위하여 ACLR (Adjacent Channel Leakage power Ratio), ACS (Adjacent Channel Selectivity), ACIR (Adjacent Channel Interference Ratio)의 3가지 항목을 정의하였다.

ACLR은 송신단의 성능지수로서, 식 (6)으로 정의된다.

$$ACLR = \frac{TxPower}{(RxPower \text{ after } RxFilter)_{Adjacent \text{ RF Channel}}} \quad (6)$$

ACS는 수신단의 성능지수로서, 식 (7)로 정의된다.

$$ACS = \frac{(RxFilter \text{ Attenuation})_{Assigned \text{ Channel Frequency}}}{(RxFilter \text{ Attenuation})_{Adjacent \text{ Channel Frequency}}} \quad (7)$$

ACIR은 송수신단을 포함하는 전체 시스템의 성능지수로서, 식 (8)로 정의된다.

$$ACIR = \frac{(Total \text{ TxPower})_{Source \text{ BS or UE}}}{(Total \text{ InterferencePower})_{Victim \text{ Receiver}}} \quad (8)$$

ACIR은 송수신단의 불완전한 특성으로부터 야기되며, ACPR (Adjacent Channel Protection Ratio)로도 불리우고, ACLR, ACS와는 다음 관계를 갖는다.<sup>[2],[3],[4]</sup>

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}} \quad (9)$$

## 2. cdma2000 FDD UL (Up Link)

cdma2000 FDD 시스템이 최대 용량을 달성하기 위하여는 모든 사용자가 적정 채널성능을 유지하는데 필요한 최소한의 Eb/No 값을 가져야 한다. 여기서 No는 사실상 대부분 다른 사용자에게 의한 간섭에 기인하기 때문에 모든 사용자의 신호는 기지국 수신기에 동일한 수신 전력으로 도달하여야 하며, 이동 무선전송 환경 하에서 이는 이동국의 동적 전력제어 (Dynamic Power

Control)에 의하여 이루어진다.

셀 내에 N 명의 사용자가 존재하고, 각 사용자의 송신신호가 기지국 수신기에 S watt 의 전력으로 수신되는 경우, 동일 셀 간섭  $I_{SC}$  은 식(10)으로 정의된다.

$$I_{SC} = (N - 1)S\nu \quad (10)$$

여기서  $\nu$  는 Voice Activity Factor 를 사용한다. cdma2000 FDD UL시스템 의 인접 셀 간섭  $I_{OC}$ 은 식 (11)과 같다.

$$I_{OC} = \left(\frac{1}{F} - 1\right)NS\nu \quad (11)$$

여기서 S는 Cell Loading 의 함수이며, F는 주파수 재사용 효율이다.

cdma2000 FDD UL시스템에서의 인접대역 간섭  $I_{OF}$  은 식 (12)과 같이 동일 셀 간섭과 인접 셀 간섭의 합의 비로 나타내어질 수 있다.

$$I_{OF} = \rho(I_{SC} + I_{OC}) \quad (12)$$

여기서,  $\rho$ 는 cdma2000 FDD UL 시스템에서의 인접대역 간섭률을 나타내며, 이동국과 기지국의 대역특성과 보호대역 등의 함수로 표현된다.

## 3. WCDMA TDD UL/DL

FDD시스템이 동시 양방향 통신 (Duplexing) 을 위하여 UL 과 DL 용으로 별도의 주파수 대역을 갖는데 비하여, TDD 시스템은 기본적으로 UL과 DL이 같은 주파수 대역을 사용한다. 이러한 TDD 시스템에서는 UL과 DL용의 Paired Spectrum대역이 존재하지 않는 Unpaired Spectrum의 경우, 시스템 전개를 위한 주파수 할당을 가능하게 한다.

TDD 시스템에서의 Round Trip Delay 특성은 그림 2와 같다. 기지국은 셀 경계에 있는 이동국의 신호를 수신하기 전에 DL로 신호를 전송할 수 없으며, 이러한 Round Trip Delay를 고려하여 데이터를 전송하지 않는 구간으로 설정한 것이 Guard Time 이다. 하지만, TDD 시스템의 Guard Time 은 전송 효율을 감소시키기 때문에, 전송효율의 감소량을 작게 하기 위하여, TDD 시스템은 일반적으로 셀 반경이 작은 Micro Cell 또는 Hot-spot Region에 적용된다. 전송효율을 향상 시키기 위하여 Time Slot을 확장하는 경우에는 Channel Reciprocity특성을 위반하게 되므로, 전송 효율과 Channel

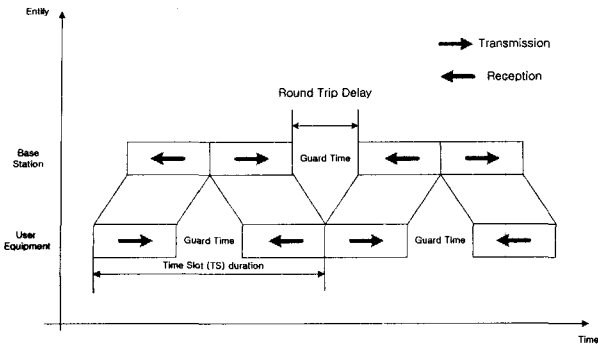


그림 2. TDD 시스템의 Round Trip Delay 특성  
Fig. 2. TDD system of Round Trip Delay property.

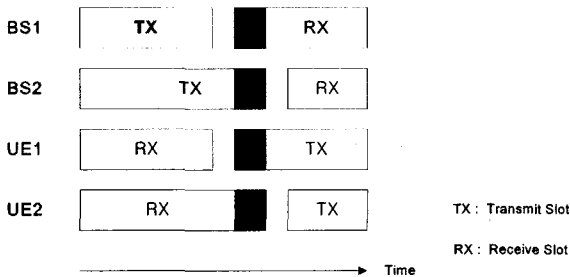
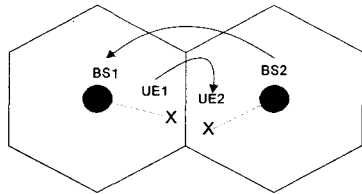


그림 3. WCDMA TDD 시스템에서 채널의 비대칭성에 의한 간섭 현상  
Fig. 3. The Interference phenomenon due to Channel of Asymmetric in WCDMA TDD system.

Reciprocity 특성 간의 Trade-off를 고려하여 Time Slot의 길이를 결정한다.<sup>[4],[5],[6]</sup>

그림 3은 WCDMA TDD시스템에서 채널의 비대칭성에 의한 간섭현상을 보인다.

그림 3에서 보듯이 WCDMA TDD시스템에서 셀 간 Time Slot의 비대칭에 기인한 Time Slot의 중첩은 전체 간섭량을 증가시키는 요인이 되며, WCDMA TDD 시스템은 BS2UE (Basestation to User Equipment) 간섭과 UE2BS (User Equipment to Basestation) 간섭이 외에도 BS2BS (Basestation to Basestation) 간섭과 UE2UE (User Equipment to User Equipment) 간섭이 존재한다. 위와 같은 간섭은 최소화하기 위하여 Time Slot동기를 포함한 시스템 간 동기가 비교적 엄격하게 유지되어야 한다. 이는 일정 시간 구간 동안의 송신전력 양과 이동국의 이동속도를 고려하는 경우에도 마찬가지로 유지되어야 한다.<sup>[7]</sup>

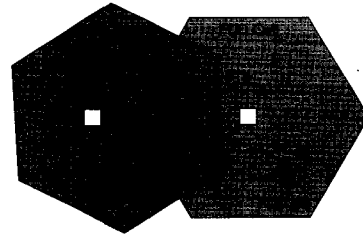


그림 4. WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 시스템 간의 간섭 시나리오  
Fig. 4. Interference scenario between WCDMA TDD system and cdma2000 system.

### III. WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템 간의 간섭모델

WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 시스템 간의 간섭모델은 다음 그림 4와 같다.

그림 4로부터 WCDMA TDD UL시스템에 작용하는 간섭은 식 (13)과 같음을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I_{TDD\_UL} &= I_{SC} + I_{OF} \\
 &= I_{TDD\_UE} + I_{FDD\_UE} + I_{FDD\_BS} \\
 &\approx I_{TDD\_UE} + I_{FDD\_UE}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

따라서, WCDMA TDD 시스템 UL에서의 간섭원은 동일 셀 내의 TDD UE (User Equipment) 와 인접 셀의 인접 대역 간섭원인 FDD UE 로 구성되며, FDD BS (Basestation)로 부터의 간섭  $I_{FDD-BS}$ 는 FDD 시스템의 상하향 링크 주파수 간격을 고려하면 무시할 수 있다.

WCDMA TDD DL시스템에 작용하는 간섭은 식 (14) 와 같이 동일 셀 간섭원인 TDD BS 와 인접 셀의 인접대역 간섭원인 FDD UE 로 구성된다.

$$\begin{aligned}
 I_{TDD\_DL} &= I_{SC} + I_{OF} \\
 &= I_{TDD\_BS} + I_{FDD\_UE} + I_{FDD\_BS} \\
 &\approx I_{TDD\_BS} + I_{FDD\_UE}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

cdma2000 FDD UL시스템에 작용하는 간섭은 식 (15) 와 같다.

$$\begin{aligned}
 I_{FDD\_UL} &= I_{SC} + I_{OF} \\
 &= I_{FDD\_UE} + I_{TDD\_BS} + I_{TDD\_UE}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

따라서, cdma2000 FDD 시스템 UL에서의 간섭원은 동일 셀 내의 FDD UE와 인접 셀의 인접대역 간섭원인 TDD BS와 UE로 구성됨을 알 수 있다. cdma2000 시스

템 DL은 FDD 시스템의 상하향 링크 주파수 간격을 고려하면 무시 할 수 있다.<sup>[8],[9]</sup>

#### IV. 간섭분석 시스템 레벨 시뮬레이션 환경

##### 1. 시스템 레벨 시뮬레이션에서 고려되어지는 주요사항 (가) 경로 손실

본 논문에서는 경로손실 모델은 Extended Hata Model 식으로 하고, Urban ( 1.5GHz < f ≤ 2GHz ) 에서 거리에 따른 경로손실은 다음과 같다.

① ( d < 0.04km ) 경우

$$PL = 32.4 + 20 \log f + 10 \log \left[ d^2 + \frac{(H_b - H_m)^2}{10^6} \right] \quad (16)$$

② ( 0.04km < d < 0.1km ) 경우

$$PL = PL(0.04) + \frac{[\log d - \log 0.04]}{[\log 0.1 - \log 0.04]} [L(0.1) - L(0.04)] \quad (17)$$

③ ( d > 0.1km ) 경우

$$PL = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log (\max (30, H_b)) + [44.9 - 6.55 \log (\max (30, H_b))] (\log d)^\alpha - a(H_m) - b(H_b)$$

여기서, d는 송수신단의 거리, f는 송신주파수(MHz),

$$H_b = \max (h_1, h_2), H_m = \min (h_1, h_2), \alpha = 1 (d \leq 20 km), b(H_b) = \min (0.20 \log (H_b / 30), a(H_m) = (1.1 \log f - 0.7) \cdot \min (10, H_m) - (1.56 \log f - 0.8) + \max (0, 20 \log (H_m / 10))$$

이다.

##### (나) 전력 제어

TDD UL 과 FDD UL의 초기전력은 UL\_NoiseFloor 에 요구되는 CIR을 더하고 경로 손실을 뺀 값이다. TDD DL 과 FDD DL 의 초기전력은 기지국 최대 송신 전력의 절반을 이동국 수로 나눈 값이다.

전력제어 방식은 TDD UL에서는 Open Loop Power Control방식을 사용하고 TDD DL과 FDD UL, 그리고 FDD DL에서는 Closed Open Loop Power Control 방식을 사용한다.

##### 2. 간섭 분석 시뮬레이션 파라미터

표 1. 2 Tier 다중 셀 환경의 System-level 간섭분석 시뮬레이션 파라미터

Table 1. System-level interference analysis simulation of 2-Tier multi cell situation.

Item	Sub Item	Parameter	Contents
Link Modeling	Freq Band	Carrier Frequency	1.9175GHz(TDD) / 1.920625(FDD)
	Duplex	WCDMA TDD (UL, DL)	-
		cdma2000 (UL, DL)	-
	Tx Side	Modulation	PG <sub>WCDMA TDD</sub> : 16 PG <sub>cdma2000</sub> : 256
		Voice Activity	cdma2000 UL : 1
		Max Tx Power	FDD : UL 21 dBm Max / DL 43 dBm Max (Macro) TDD : UL 21 dBm Av / DL 33 dBm Max (Micro)
	Channel Model	Antenna Gain	BS : 11 dBi UE : 0 dBi
		Path Loss	-
		MCL	-70 dBm (FDD Macro) -50 dBm (TDD Micro)
	Rx Side	Orthogonality	DL : 0.6
Slot Async		WCDMA TDD : Perfect	
Power Control	Inner Open Loop	WCDMA TDD UL Only	
	Inner Closed Loop	WCDMA TDD DL cdma2000 DL & UL	
	Step	1 dB	
Input Parameter	Cell Site	# of Cells	WCDMA TDD : 19 cdma2000 : 19
		Cell Configuration	Hexagonal
		Cell Radius	500 m
		Cell Distance	√3 * 2km
	UE	# of Users	-
		Position	Uniform Random
	ACIR	-	-
	Target CIR	WCDMA TDD (UL, DL)	(-6.24, -3.74) dB
cdma2000 (UL, DL)		(-17.98, -16.18) dB	
Thermal Noise	-	UL : -133 dBm DL : -129 dBm	
	-	-	
Output Parameter	Capacity	-	
	Outage	-	

##### 3. 시뮬레이션 환경

###### (가) 2-Tier 시뮬레이션 환경

인접대역의 WCDMA TDD 시스템이 인접 셀 간섭으로 작용하는 시스템 레벨 간섭분석 시뮬레이션을 위하여, 그림과 같은 Hexagonal 셀로 구성된 다중 셀 환경을 고려한다. 이 경우의 다중 셀 환경은 중앙의 Victim Cell을 포함하여 총 19 개의 셀로 이루어진다. 기지국은 각 Hexagonal 셀의 중심에 위치하고, 각 기지국 간 거리는 √3R로 동일하다고 가정한다.

Victim Cell인 cdma2000 FDD 시스템이 2-Tier 다중 셀의 중앙에 위치하며, 동일 셀 내의 인접대역에 존재하는 WCDMA TDD 시스템이 간섭 셀로 작용한다.

###### (나) 2-Cell 시뮬레이션 환경

2-Cell 환경에서는 Cell Configuration을 Hexagonal

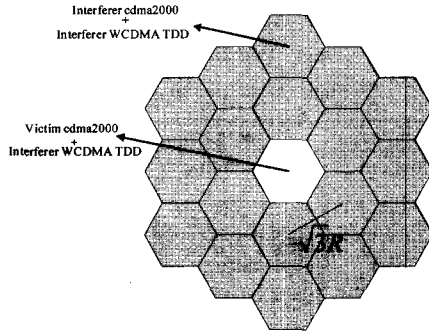


그림 5. 시스템 레벨간섭분석 시뮬레이션을 위한 2-Tier 다중 셀 환경

Fig. 5. 2-Tier multi-cell situation for system-level interference analysis simulation.

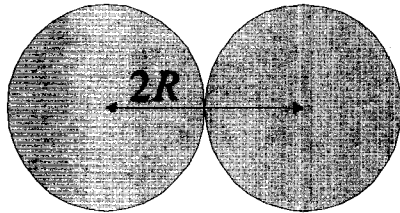


그림 6. WCDMA TDD 단일 셀과 cdma2000 FDD 단일 셀로 구성된 2-Cell 환경

Fig. 6. 2-cell situation make up WCDMA TDD single cell and cdma2000 FDD single cell.

이 아닌 원으로 구성하는데, 이는 다중 셀 환경과는 다르게 Cell Overlapping을 허용하기 때문이다.

### V. WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템 간의 간섭 분석 시뮬레이션 결과

본 장에서는 2-Tier와 2-Cell 환경 하에서, 셀 반경과 ACIR에 따른 Capacity와 2-Cell에서의 두 셀 간 거리에 따른 Capacity를 분석한다.

그림 7로부터 2-Tier 상황에서 각 시스템의 링크 Capacity는 셀 반경 500m인 경우, 통화성공률 (1-Outage Prob.) 이 95%를 고려하면, TDD UL 1명, TDD DL 2명, FDD UL 15명이 Loading되고, 셀 반경이 1km 인 경우에는 TDD UL 1명 (92% 통화성공률), TDD DL 1명 (92% 통화성공률), FDD UL 3명 (74% 통화성공률) 으로 Loading된다. 여기서 셀 반경이 커짐에 따라 Path Loss 와 CIR의 영향에 의해서 FDD UL의 통화성공률이 악화되는 것을 알 수 있다. 그림 8로부터 WCDMA TDD 시스템의 셀 반경이 작아짐에 따라 cdma2000 FDD 시스템에 미치는 간섭영향이 줄어드는 것을 알 수

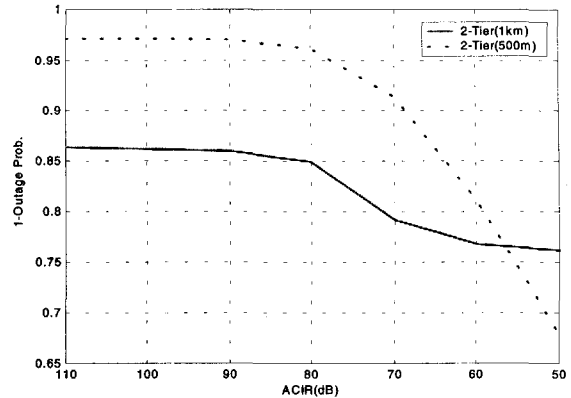


그림 7. 2-Tier환경에서의 WCDMA TDD 시스템 간섭에 의한 cdma2000 FDD 시스템 UL에서의 ACIR vs. (1-Outage Prob.) 특성

Fig. 7. ACIR vs. (1-Outage Prob.) property of cdma2000 FDD system due to WCDMA TDD system interference in 2-Tier situation.

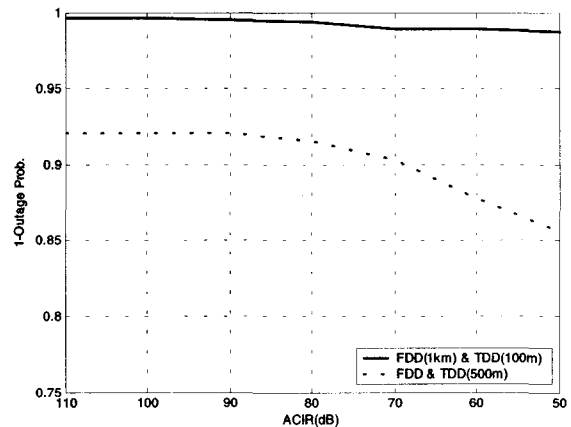


그림 8. 2-Cell 환경에서의 WCDMA TDD 시스템 간섭에 의한 cdma2000 FDD 시스템 UL의 ACIR vs. (1-Outage Prob.) 특성

Fig. 8. ACIR vs. (1-Outage Prob.) property of cdma2000 FDD system due to WCDMA TDD system interference in 2-Cell situation.

있고, 이를 통해 TDD 시스템은 일반적으로 셀 반경이 작은 Pico Cell 또는 Hot-Spot Region에서 적용됨을 알 수 있다. 또한, ACIR이 작아짐에 따라 cdma2000 FDD 시스템 UL의 통화성공률이 작아지는 것도 알 수 있다.

그림 9로부터 ACIR을 30dB ~ 50dB로 변화 시키면, ACIR이 증가함에 따라 인접대역 간섭의 감소에 의하여 통화성공률 성능이 개선됨을 알 수 있다. 또한 cdma2000 FDD 시스템 UL에서 셀 중심간의 거리가 증가함에 따라 통화성공률이 증가하는 것을 알 수 있으며, 두 셀 중심 간의 거리가 2R (R : FDD 셀 반경) 이상 되면, ACIR과는 관계없이 두 셀간의 간섭은 존재하지 않는 것을 알 수 있다.

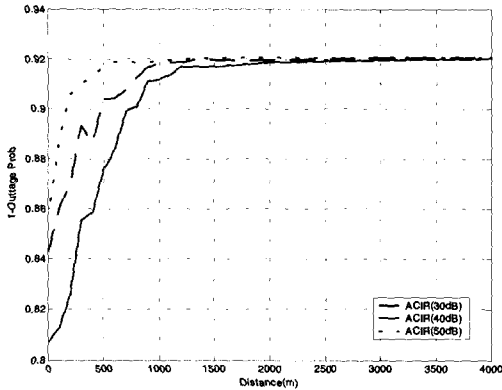


그림 9. 2-Cell 환경에서 두 셀 사이의 거리에 따른 cdma2000 FDD 시스템 UL의 (1-Outage Prob.) 특성 (FDD & TDD 셀 반경 : 500m)  
 Fig. 9. ACIR vs. (1-Outage Prob.) property of cdma2000 FDD system according to 2 cell distance in 2-Cell situation. (FDD & TDD Cell Radius : 500m).

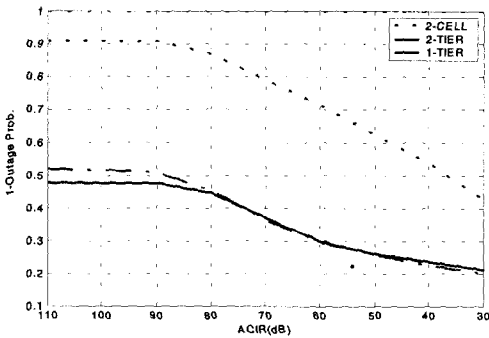
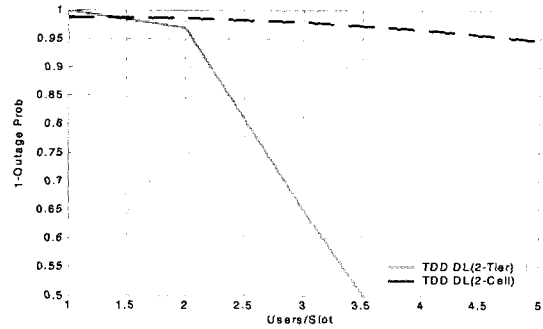


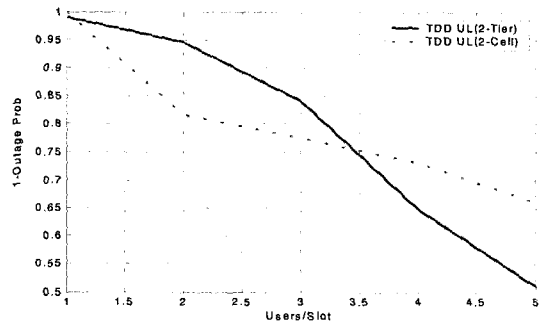
그림 10. 1-Tier, 2-Tier & 2-Cell 이 동일한 조건으로 Loading 된 경우, WCDMA TDD 시스템 간섭에 의한 cdma2000 시스템 UL에서의 ACIR vs. (1-Outage Prob.) 특성 비교  
 Fig. 10. In case of 2-Tier, 1-Tier & 2-Cell is loaded with same condition, ACIR vs. (1-Outage Prob.) property of cdma2000 FDD system due to WCDMA TDD system interference.

그림 10을 통해 1-Tier / 2-Tier Configuration 에 비하여 2-Cell Configuration 에서 통화 성공률이 월등히 우수함을 알 수 있다. 이는 2-Cell 이 1-Tier / 2-Tier 의 경우에 비하여 주변 셀로부터의 인접 셀 간섭 및 인접대역 간섭을 받지 않고, 동일한 Loading 의 경우에, 2-Cell TDD DL의 통화성공률이 1-Tier / 2-Tier비하여 우수하기 때문이다. 2-Cell 에서 WCDMA TDD UL 1명, WCDMA TDD DL 5명, cdma2000 UL 20명이 Loading 된 경우 90% 통화성공률을 고려하면, ACIR은 90dB 보다 커야한다.<sup>[10],[11]</sup>

그림 11로부터 셀 반경 500m인 경우, 2-Tier 와



(a)



(b)

그림 11. WCDMA TDD 시스템에서의 Capacity vs. (1-Outage Prob.) 특성 (셀 반경 : 500m & 1km)  
 (a) DL (b) UL  
 Fig. 11. ACIR vs. (1-Outage Prob.) property of WCDMA TDD system UL and DL (Cell radius : 500m & 1km). (a) DL (b) UL.

2-Cell 환경에서 Loading된 사용자와 통화성공률 관계를 비교하면 다음과 같다. TDD UL에서 95% 통화성공률 고려 시, 2-Tier TDD UL와 2-Cell TDD UL에서는 Loading된 사용자가 1명(/Slot)으로 동일하다. 또한 TDD DL에서 95% 통화성공률을 고려 시, 2-Tier TDD DL에 1명(/Slot)이 Loading 되고 2-Cell TDD DL에는 4명(/Slot)이 Loading 된다. 이러한 결과로부터, TDD 시스템내에서는 WCDMA TDD 시스템에서 BS2BS 간섭이 UE2UE 간섭보다 시스템 성능 저하에 보다 더 심각한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.<sup>[12],[13]</sup>

### VI. 링크 레벨을 고려한 2-Cell 시스템 레벨 간섭분석 시뮬레이션 결과

일반적으로 링크 레벨 분석과 시스템 레벨 분석은 독립적으로 수행되며, 시스템 레벨 분석에서는 링크 레벨 분석 결과를 이용한다. 링크 레벨 분석을 통해 평균 SIR 대비 평균 FER (또는 BER)을 구하고, 요구되는 FER (또는 BER)에 대응하는 SIR을 구한 뒤, 시스템

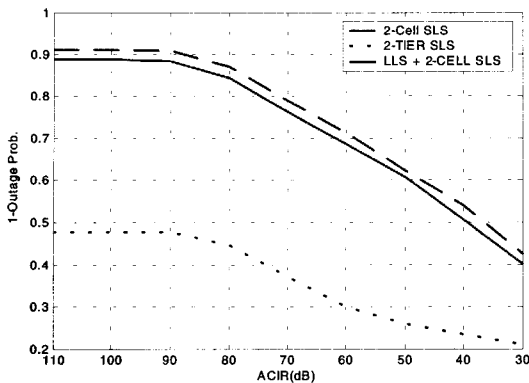


그림 12. SLS 와 LLS + SLS 를 동일한 조건으로 Loading 할 경우, TDD WCDMA 시스템 간섭에 의한 cdma2000 시스템 UL 에서의 ACIR vs. (1-OutageProb.) 비교

Fig. 12. In case of SLS & LLS+SLS is loaded with same condition, ACIR vs. (1-Outage Prob.) property of cdma2000 FDD system due to WCDMA TDD system interference.

레벨 분석에서는 링크 레벨 분석을 통해 얻은 요구 SIR 을 이용하는 방법을 사용한다. 가장 이상적인 방법은 시스템 레벨 분석 시, 고려되는 모든 송수신 링크에 대해 링크 레벨 시뮬레이션이 수행되는 것이다. 그러나 이는 매우 연산량이 많아서 비효율적인 분석 방법이다. 연산량을 줄이기 위해서는 링크 레벨 분석에서 변복조 과정이나 부호화 과정과 같은 많은 연산량을 필요로 하는 부분을 간략화 하는 것이 필요하다. Look-up Table 을 이용한 FER (또는 BER) 예측은 연산량을 대폭 감소하면서 링크 레벨 분석을 가능하게 하는 방법이다.

SLS (System Link Simulation) 와 LLS (Link Level Simulation)을 고려한 SLS (System Link Simulation) 의 비교를 위하여, 셀 반경 500m, WCDMA TDD UL 1 명, WCDMA TDD DL 5명, cdma2000 UL 20명의 셀 Loading으로 환경을 구성한다. WCDMA TDD 시스템의 간섭이 cdma2000 FDD UL에 미치는 영향을 비교, 분석하면 그림 12와 같다.

그림 12는 LLS (Link Level Simulation)을 고려한 SLS (System Link Simulation) 의 ACIR vs. (1-Outage Prob.) 성능은 LLS로부터  $10^{-3}$  BER Target 을 위한 각 Time Slot 별 순시 CIR 을 구한 뒤, 이를 2-Cell SLS에 적용하여 구한 결과이다. 이로부터, Fading 을 고려한 LLS 와 2-Cell SLS가 결합한 경우의 ACIR vs. (1-Outage Prob.) 성능은 [2]에서 제시한 Target CIR 을 사용한 경우와 비교하면, 80% 통화성공률의 경우, 약 4 dB의 ACIR 차이를 보인다. 이러한 차

이는 구현된 LLS가 생성하는 순시 CIR 평균값이 SLS 에서 사용한  $CIR_{Target}$  값이 차이가 나는데서 비롯된 것으로 보인다.<sup>[2],[14],[15]</sup>

## VII. 시뮬레이션 결과의 활용

본 논문의 결과로부터 어느 일정 이상의 통화성공률을 얻기 위한 필요한 조건들에 대해 알 수 있다. 2-Tier 상황에서 TDD UL 1명, TDD DL 2명, FDD UL 15명이 Loading 된 경우, 90% 통화성공률을 얻기 위해서는 ACIR을 70dB 이상으로 유지시켜야 한다. 또한 2-Cell 상황에서도 TDD UL 1명, TDD DL 5명, FDD UL 7명이 Loading 된 경우, 90% 통화성공률을 얻기 위해서는 2-Tier와 동일하게 ACIR을 70dB 이상으로 유지시켜야 한다. 그리고 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템의 셀 반경이 500m로 동일한 2-Cell 환경과 셀 반경이 각각 100m, 1km인 경우, 두 셀간의 거리를 2R (R : FDD 셀 반경) 이상으로 유지시키면 두 경우 모두 90% 이상의 통화성공률을 얻을 수 있다. 두 셀 반경이 500m이고 ACIR 값이 50 dB 인 경우, 두 셀 사이의 간격이 400m이상으로 떨어지면 90% 통화성공률을 유지할 수 있고, ACIR을 30dB로 유지시키는 경우, 두 셀간의 간격이 1.2Km이상 떨어지면 90% 통화성공률을 유지시킬 수 있다.

위의 결과로부터 두 시스템 간의 간섭은 시스템 자체에 주어진 Guard Band 에서 두 셀 사이의 거리와 ACIR을 조정함으로써 줄일 수 있다. 하지만 두 셀간의 거리는 서비스 용도에 의해 결정되기 때문에 본 논문에서는 제시된 ACIR과 Outage간의 Trade off를 통해서 간섭의 양을 감소시킬 수 있다.

또한 2-Tier / 2-Cell WCDMA TDD 시스템에서의 UL 과 DL의 Capacity 비교를 통해 BS2BS와 UE2UE 간섭 중 BS2BS간섭이 UE2UE 간섭보다 시스템 성능저하에 더욱더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

그리고 Load Factor를 통해서도 셀에 미치는 간섭의 양과 시스템의 Capacity를 다음과 같이 분석 가능하다. 수신된 광대역 간섭 전력  $I_{total}$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$I_{total} = I_{own} + I_{other} + P_N \quad (19)$$

여기서,  $I_{own}$  자기 셀 사용자의 간섭,  $I_{other}$  다른 셀 사용자의 간섭,  $P_N$  배경잡음 및 수신된 잡음이다. UL



Noise Rise 는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Noise Rise} = \frac{I_{total}}{P_N} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (20)$$

UL에서 Load Factor는 식 (21)과 같다.

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N L_j \quad (21)$$

인접 셀로부터의 간섭을 고려한 Load Factor는 식 (22)와 같다.

$$\eta_{UL} = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \quad (22)$$

여기서, N은 자기 셀의 사용자 수, W는 Chip Rate,  $L_j$ 는 j번째 사용자의 Load Factor,  $R_j$ 는 j번째 사용자의 Bit Rate,  $(E_b/N_0)_j$ 는 j번째 사용자의  $(E_b/N_0)$ ,  $v_j$ 는 j번째 사용자의 Voice Activity, i는 다른 셀과 자기 셀간의 간섭의 비율이다.

Load Factor는 간섭으로 인한 Thermal Noise에 분포한 Noise Rise의 양을 예측하고, Link Budget 에서 Interference Margin은 최대의 Noise Rise와 같다.  $\eta_{UL}$  이 1 에 가까워지면 대응하는 Noise Rise는 무한대에 접근하고, 시스템은 최대 Capacity 에 도달한다. Load Factor가 커지면 Interference Margin이 커지고 Coverage가 작아진다. 또한 Coverage 가 제한된 경우에는 Interference Margin를 작게하고, Capacity가 제한된 경우에는 Interference Margin를 크게 하는 것이 유리하다. Coverage가 제한된 경우에서 Interference Margin 대한 전형적인 값은 1dB ~ 3dB이다. UL Load Factor  $\eta_{UL}$  은 UL Load 지표로서 사용된다.

본 논문에서는 간섭분석을 통해 얻은 간섭의 양을 가지고 Load Factor를 계산할 수 있고, 이를 통해 Link Budget에서 Interference Margin을 알 수 있다. 또한, 시뮬레이션 결과로 얻은 Load Factor를 이용해서 시스템의 Capacity와 Coverage를 예측 할 수 있다.

DL 에서 Load Factor는 식 (23)과 같다.

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_i}{W/R_i} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j] \quad (23)$$

여기서,  $\bar{\alpha}$  는 셀의 평균 직교성이다.

## VIII. 결 론

본 논문에서는 2-Tier / 1-Tier / 2-Cell과 같은 다양한 상황 하에서의 시뮬레이션을 통해 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템간의 상호간섭을 분석하고 어느 일정 이상의 통화 성공률을 얻기 위해 필요한 조건들을 알아보았다. 그리고 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템간의 상호간섭이 ACIR과 두 셀간의 거리에 따라 어느 정도 영향을 받는가를 조사하였다. WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD시스템 간의 상호간섭을 줄이기 위해서는 셀 간 거리를 2R (R : FDD셀 반경) 이상으로 유지하거나, 어느 일정 이상의 ACIR을 유지시켜야 한다. 또한, cdma2000 FDD 시스템 (Macro Cell) 중심에 WCDMA TDD 시스템 (Pico Cell)이 위치하는 셀 환경 하에서는 WCDMA TDD 시스템의 작은 셀 반경으로 인하여 cdma2000 FDD UL시스템에 미치는 간섭량은 거의 무시할 수 있는 정도이다.

시뮬레이션 결과를 통해 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템간의 상호간섭이 어느 일정 이상의 ACIR과 두 셀간의 거리와 상관하여 줄어든다는 것을 알 수 있다. 그러나 두 셀간의 거리는 시스템의 전개에 의해 미리 결정되기 때문에 실제 구현에서는 ACIR을 보다 엄격하게 적용하여 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 FDD 시스템간의 상호간섭을 줄이도록 한다. 또한, Guard Band는 주파수 할당에 의하여 일반적으로 설정되기 때문에, 설정된  $1 f_a$ 의 전체 주파수 대역을 추가의 Guard Band 로 할당하지 않는 한, 시스템 간 간섭효과분석에서는 기 설정된 시스템 자체의 Guard Band 만을 사용함을 전제로 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] European Radiocommunications Committee (ERC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), *Adjacent Band Compatibility between UMTS and Other Services in the 2 GHz Band*. Nov. 1999.
- [2] 3GPP, Technical Report 25.942 - *Release 6, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Networks; Radio Frequency (RF) system scenarios*. 2002.
- [3] 3GPP, TSGR4#14(00)0966, *Simulation Results on TDD Local Area BS and FDD Wide Area BS*

## Coexistence.

- [4] 3GPP, 3G Technical Specification 25.221-Release '99, *Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (TDD)*. 2000.
- [5] 3GPP, 3G Technical Specification 25.222-Release '99, *Multiplexing and Channel Coding (TDD)*. 2000.
- [6] 3GPP, 3G Technical Specification 25.223-Release '99, *Spreading and Modulation (TDD)*. 2000.
- [7] Harri Holma and Antti Toskala, *WCDMA for UMTS*. John Wiley & Sons, pp. 283-302, 2000.
- [8] Siemens, *UTRA TDD Link Level and System Level Simulation Results for ITU Submission*. SMG2 UMTS-ITU, Tdoc S298W61, Sep. 1998.
- [9] TR 101 112 UMTS 30.03 v.3.1.0, *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS*. Nov. 1997.
- [10] M.O. Sunay, Z.C. Honkasalo, A. Hottinen, H. Honkasalo, and L. Ma, "A dynamic channel allocation based TDD DS CDMA residential indoor system," in *Proc. IEEE Intl. Conf. on Univ. Personal Commun.*, pp. 228-234, Oct. 1997.
- [11] J. Schindler, et al., "Overview of the UTRA/TDD performance evaluation," in *Proc. Intl. Symp. On Wireless Multimedia Commun.*, Nov. 1998.
- [12] Q. Miao, W. Wang, D. Yang, and D. Wang, "An investigation of interference between UTRA-TDD and FDD system," in *Proc. Intl. Conf. on Commun. Tech.*, pp. 339-346, Aug. 2000.
- [13] Q. Miao, W. Wang, and D. Yang, "The coexistence of UTRA-TDD and FDD system in the adjacent channel," in *Proc. IEEE Globecom*, pp. 3714-3718, Nov. 2001.
- [14] S.M. Heikkinen, H. Haas, and G.J.R. Povey, "Investigation of adjacent channel interference in UTRA-TDD system," in *Proc. IEE Colloquium on UMTS Terminals and Software Radio*, pp. 13/1-13/6, 1999.
- [15] H. Holma, G.J.R. Povey, and A. Toskala, "Evaluation of interference between up-link and down-link in UTRA/TDD," in *Proc. IEEE VTC-Fall*, pp. 2616-2620, Sep. 1999.

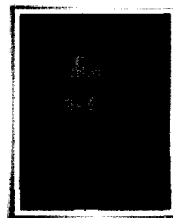
## 저 자 소개



차인석(학생회원)  
2003년 인하대학교 전자공학과  
(공학사)  
2003년~현재 인하대학교  
정보통신대학원 석사과정  
<주관심분야: 4세대 이동통신,  
DMB 시스템 무선 전송규격>



최용석(정회원)  
1982년 연세대학교 천문우주학과  
(공학사)  
1994년 일본 동경대학교  
전파물리학 박사 졸업  
1986년 공군 레이더 분석 통보장교  
1989년 11월~현재 한국전자통신  
연구원 책임연구원/팀장  
<주관심분야: 무선통신, 전파전파, 스펙트럼공학>



장경희(정회원)  
1985년 연세대학교 전자공학과  
(공학사)  
1987년 연세대학교 전자공학과  
(공학석사)  
1992년 Texas A&M Univ. EE  
Dept.(Ph.D.)

1989년~1990년 삼성종합기술원 주임연구원  
1992년~2003년 한국전자통신연구원 책임연구원 (팀장)  
2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수  
<주관심분야: 4세대 이동통신 시스템, WiBro,  
UWB 및 DMB 시스템 무선 전송규격>



김성진(정회원)  
1994년 경북대학교 전자공학과  
(공학사).  
1997년 경북대학교 전자공학과  
(공학석사)  
1997년 2월~2001년 4월 삼성전자  
무선통신연구소 선임연구원

2001년 4월~현재 한국전자통신  
연구원 전파기술연구그룹 선임연구원  
<주관심분야: 무선통신, 전파전파, 스펙트럼공학>