

## 역방향 링크에 대한 디지털 셀룰러 CDMA 시스템의 용량 평가

### Capacity Evaluation of a Digital Cellular CDMA System for Reverse Link

박 용 서\*  
(Yong Seo Park\*)

#### 요 약

서비스 영역이 중심 셀로부터 3개의 링이 포함된 37개의 6각형 셀의 역방향 링크(이동체-기지국)에 대한 디지털 셀룰러 CDMA의 용량을 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 구하였다. 채널에는 shadow 페이딩이 존재하며, 시스템은 이상적으로 전력제어가 이루어지고 있다고 가정하였다. 본 논문에서는 전파손실계수와 음성통화율 그리고 인접 셀의 통화량을 고려한 CDMA 시스템의 용량 평가를 통하여 CDMA 시스템의 용량은 전파손실계수가 증가하고 음성통화율이 감소함에 따라 증가하며  $\gamma=4$ 일 때 아날로그 셀룰러 FM/FDMA와 디지털 셀룰러 TDMA의 용량에 비하여 각각 15배와 5배 가량 크며 인접하고 있는 셀의 통화량에 매우 민감하다는 결과를 얻었다.

#### ABSTRACT

The capacity of a digital cellular CDMA system is evaluated by computer simulation for reverse link(mobile-to-base) with 37 hexagonal cells including 3 rings from a center cell. It is assumed that the channels have shadow fading and the system is ideally power controlled. In this paper the capacity of CDMA system is evaluated for various propagation exponents, voice activity factors and neighboring cell traffics. The following results are obtained. The capacity of CDMA system is increased according to the increase of the propagation exponents and the decrease of the voice activity factors. Its capacity is about 15 and 5 times larger than that of analog cellular FM/FDMA and digital cellular TDMA for  $\gamma=4$  respectively, and is very sensitive to the neighboring cell traffics.

#### I. 서 론

스펙트럼 확산 통신은 다중 경로 영향에 강하고 간섭의 억제와 다중접속 능력이 있기 때문에 최근에 개인통신이나 이동통신에 응용되고 있으며, 특히 셀룰러 CDMA(Code Division Multiple Access)에 이

변조기술을 적용하는데 많은 관심을 갖고 있다[1]. 종래의 셀룰러 기술은 인접한 셀에 다른 주파수 대역을 할당하여 주는 반면에 CDMA 기술은 모든 셀에서 동일한 스펙트럼을 재사용한다. 그러므로 CDMA는 주파수 재사용 효율이 크기 때문에 종래의 셀룰러 시스템에 비하여 용량이 크다[2]. 그리고 셀룰러 CDMA 시스템은 셀마다 각 가입자에게 상호상관 특성이 낮도록 설계된 고유의 디지털 코드를 지정하여 다중 접

\*경원대학교 공과대학 전기공학과  
접수일자: 1994년 9월 29일

속을 수행한다. 이러한 특성 때문에 정합필터나 상관 검출기를 이용하여 다른 시스템의 사용자가 존재하는 상태에서도 전송된 정보를 쉽게 재생할 수 있다. 여기에서 각각의 셀은 경로 손실에 의해서 격리되고 있으며 이 경로 손실은 UHF의 전파전파 특성에 의하여 거리의  $\gamma$ (Propagation Exponent)승에 비례한다. 각 셀 내의 가입자간에는 상호 간섭이 존재하며 이는 확산코드가 서로 직교하지 않거나 셀 기지간에 혹은 모든 셀 가입자간에 동기가 되지 않았을 때 발생한다. 또한 이동체가 셀 내를 이동할 때 수신 신호가 다중 경로에 기인하여 급격히 변하지만 평균전력에 영향을 주지 않는다. 그러나 전송신호의 평균전력은 건물과 언덕 등에 의해서 shadow 페이딩된다[3].

CDMA의 용량이 상호 간섭에 의하여 제한되기 때문에 단지 이러한 간섭만을 줄임으로써 직접적으로 CDMA의 용량을 증가시킬 수 있다. 따라서 다른 가입자에 의해서 생긴 상호 간섭의 양을 줄이기 위하여 멀리 떨어져 있는 원하는 송신단으로부터의 신호가 가까이 있는 간섭 신호에 의해서 방해받게 되는 근-원 문제들 극복할 필요가 있다. 이것은 CDMA의 송신 전력의 크기가 정확히 제어될 수 있도록 설계함으로써 해결될 수 있다. 본 논문에서는 CDMA의 전력제어가 이상적이라고 가정한다[4], [5]. CDMA가 임의의 음성 통화율(Voice Activity Factor)을 갖고 간헐적인 통화가 이루어지고 있기 때문에 통화시 음성 없는 동안에 전송을 멈춤으로써 이 요소에 역비례하는 만큼 용량이 증가되며 셀을 몇 개의 구획으로 나눌 수 있는 방향성 안테나를 설치하여 용량을 증가시킬 수 있다[6]. 한편 인접 셀에서 통화량의 변화는 중심 셀에 대한 간섭의 크기를 변화시키기 때문에 CDMA 시스템의 용량을 정확하게 평가하기 위해서는 중심 셀과 인접한 셀의 통화량을 고려하여야 한다.

본 논문에서는 셀의 크기에 따라 다양하게 선택될 수 있는 전파손실계수와 음성통화율의 변화에 따른 디지털 셀룰러 CDMA 시스템의 용량을 구하고 중심 셀로부터 인접한 셀 중 3개의 계도에 포함되는 37개의 6각형 셀을 대상으로 각 계도에 속한 셀들의 통화량 변화가 역방향 링크에 대한 디지털 셀룰러 CDMA 시스템의 용량에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

II. 이상적으로 전력제어된 CDMA의 용량

전력제어가 이상적으로 이루어지고 있는 단일 셀

에 대해서 모든 역방향 링크의 신호는 같은 크기로 수신된다. 사용자수  $N_s$ 인 단일셀의 기지국에서는 신호 전력이  $S$ 인 원하는 신호와  $(N_s-1)S$ 의 전력을 갖는 간섭 신호를 수신한다. 그러므로 신호 전력 대 간섭 신호 전력의 비는 식(1)과 같다[6].

$$SIR = \frac{S}{(N_s-1)S} = \frac{1}{N_s-1} \tag{1}$$

시스템의 전체 확산 대역폭이  $W$ 이고 기지국의 비트율이  $R_b$  일 때 비트 에너지 대 잡음 전력 밀도의 비는 식(2)로 나타난다.

$$(E_b/N_o)_o = \frac{S/R_b}{(N_s-1)S/W} = \frac{W/R_b}{N_s-1} \tag{2}$$

여기서  $(E_b/N_o)_o$ 는 개개의 사용자가 허용된 오차율을 갖기 위하여 요구되는 SIR의 크기이다[7]. 시스템의 사용자수가 많고 대역폭  $W$ 에 포함되어 있는 열 잡음이 원하지 않는 사용자로부터 생기는 간섭 신호의 전력에 비하여 작다고 가정할 때 단일셀 CDMA 시스템의 역방향 링크에서 지원되는 사용자의 수  $N_s$ 는 식(3)으로 표시된다.

$$N_s \approx \frac{W/R_b}{(E_b/N_o)_o} \tag{3}$$

다중 셀 시스템에서 수신된 간섭은 동일 셀 내에 있는 이동체에 의해서 발생한 간섭과 주변 셀의 이동체에 기인하는 간섭으로 구성된다. 전체의 간섭이 단일 셀의 경우에서 보다 크기 때문에 임의의 특정 셀 내에서 지원될 수 있는 사용자의 수  $N_m$ 은 다음과 같다.

$$N_m \approx \frac{W/R_b}{(E_b/N_o)_o} F_c \tag{4}$$

여기서  $F_c$ 는 CDMA시스템의 역방향 링크의 주파수 재사용 효율을 나타내며, 다중셀내에 있는 사용자의 수와 단일 셀 내의 사용자수의 비로 정의한다. 다중 셀에서의 총 간섭은 그림1의 셀 구조로부터 구할 수 있다. 여기서  $k_1, k_2, k_3, k_4, \dots$  는 중심 셀로부터  $i$ 번째 계도에 있는 셀 영역의 원하는 신호전력  $S$ 에 대한 평균 간섭 전력의 비이고  $N_i$ 는  $i$ 번째 계도에 속한 셀의 수이다. 고려하고 있는 전체의 인접 셀 수를  $N_c$ 라고 하였을 때  $N_c = \sum N_i$  이다. 따라서 전체 간섭 전력의 크기는 식(5)와 같다.

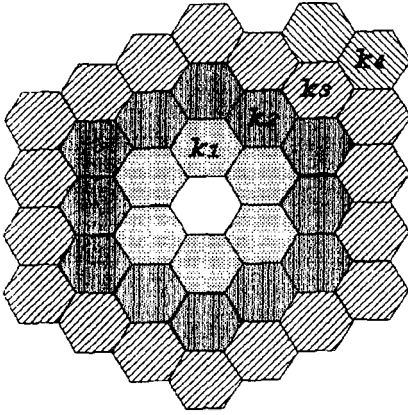


그림 1. 셀룰러 CDMA의 셀 구조와 인접한 셀로부터의 간섭비율

$$\begin{aligned}
 I_i &= (N_m + k_1 N_m N_1 + k_2 N_m N_2 + k_3 N_m N_3 + k_4 N_m N_4 + \dots) S \\
 &= N_m (1 + k_1 N_1 + k_2 N_2 + k_3 N_3 + k_4 N_4 + \dots) S \quad (5) \\
 &= N_m (1 + N_c + \sigma_m^2) S
 \end{aligned}$$

여기서  $\sigma_m^2$ 은 인접 셀로부터의 원하는 신호전력  $S$ 에 대한 사용자 당 평균 간섭 전력의 비이다. 따라서 인접 셀로부터의 간섭이 존재 할 때 시스템의  $(E_b/N_o)_o$ 는 다음식(6)과 같이 주어진다.

$$(E_b/N_o)_o \approx \frac{W/R_b}{N_m(1 + N_c \sigma_m^2)} \quad (6)$$

그리고  $N_s \gg 1$ 이기 때문에 식(2)와 식(6)으로 부터 식(7)을 얻을 수 있다.

$$N_s = N_m + \sigma_m^2 N_m N_c \quad (7)$$

그러므로 시스템의 재사용 효율은 다음과 같다.

$$F_c = N_m/N_s = \frac{1}{(1 + N_c \sigma_m^2)} \quad (8)$$

인접 셀 들로부터 수신되는 간섭의 크기를 결정하기 위하여 육각형 구조의 셀을 면적이 같은 원형셀로 근사화한 그림2와 같은 역방향 링크의 셀을 생각하자 [8].

채널에 shadow 페이딩이 없고 각각의 기지국은 역방향 전력제어에 의하여 그 셀에 있는 모든 이동체로부터 수신되는 전체의 전력이  $S_i (S_i = SN_m)$ 로 제한

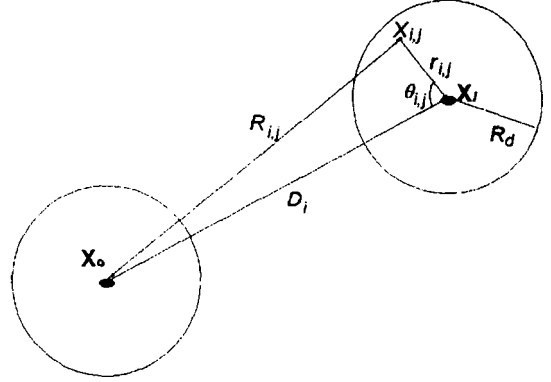


그림 2 원형 셀로 근사화된 역방향 링크의 셀

되어 있다고 가정한다. 따라서  $i$ 번째 셀 내에 있는  $j$ 번째 이동체인  $x_{i,j}$ 의 전송 전력은  $P_{i,j}(r)$ 로 전력제어 된다.

$$P_{i,j}(r) = S r_{i,j}^\gamma \quad (9)$$

여기서  $\gamma$ 는 전파손실계수이고  $r_{i,j}$ 는  $i$ 번째 셀 내의  $j$ 번째 이동체와 동작하고 있는 기지국  $X_i$ 와의 거리이다. 그리고 이동체  $x_{i,j}$ 로부터 기지국  $X_o$ 에 수신되는 간섭은 다음과 같이 주어진다.

$$I(X_o, x_{i,j}) = \frac{S r_{i,j}^\gamma}{R_{i,j}^\gamma} \quad (10)$$

여기서  $R_{i,j}$ 는 이동체  $x_{i,j}$ 와 기지국  $X_o$ 간의 거리이다. 만일 이동체의 분포가 셀 내에서 균일하다고 가정한다면 기지국  $X_i$ 의 셀 내에 있는 이동체로부터 기지국  $X_o$ 에서 수신되는 단위 면적당 간섭 전력은 다음 식 (11)과 같다.

$$dI(X_o, X_i) = \frac{S_i r^\gamma dA}{\pi R_d^2 (D_i^2 + r^2 - D_i r \cos \theta)^{\gamma/2}} \quad (11)$$

여기서  $R_d$ 는 셀의 반경이고  $dA = r dr d\theta$ 이다. 따라서 모든 인접 셀로부터 수신되는 전체의 간섭은

$$I_i = \frac{SN_m}{\pi R_d^2} \sum_{i=1}^{N_c-1} \int_0^{2\pi} \int_0^{R_d} \frac{r^{\gamma+1} dr d\theta}{(D_i^2 + r^2 - D_i r \cos \theta)^{\gamma/2}} \quad (12)$$

이다. 만일 이동체가 shadow 페이딩[8]이 된다면, 이동체와 동작하고 있는 기지국 사이의 경로 손실은

$[r_{i,j}^\gamma 10^{(\delta_{i,j}-\zeta_i)/10}]$ 에 비례한다. 여기서  $\zeta_{i,j}$ 는 0의 평균을 갖고 표준 편차  $\sigma_s$ 가 8dB인 가우시안 랜덤 변수이고 [3], 기지국  $X_i$ 와 이동체  $x_{i,j}$ 간의 shadow 성분을 나타낸다. 만일 간섭이 shadow 성분을 포함하고 있다면, 이동체  $x_{i,j}$ 에 기인하는 기지국  $X_o$ 에서 수신되는 간섭은 식(13)과 같다.

$$I(X_o, X_i) = \frac{S r_{i,j}^\gamma 10^{(\delta_{i,j}-\zeta_i)/10}}{R_{i,j}} \quad (13)$$

여기서  $\delta_{i,j}$ 는 이동체  $x_{i,j}$ 와 기지국  $X_o$ 간의 shadow 성분이다. 채널에 shadow 페이딩이 존재하기 때문에 이동체가 반드시 가장 가까운 기지국에 대해 동작할 필요 없이 경로 손실이 최소가 되는 기지국에 대해 동작하게 된다. 만일 이동체  $x_{i,j}$ 와 기지국  $X_o$ 간에 다음과 같은 조건이 주어진다면,

$$\left(\frac{r_{i,j}}{R_{i,j}}\right)^\gamma 10^{(\delta_{i,j}-\zeta_i)/10} > 1 \quad (14)$$

이것은 이동체  $x_{i,j}$ 의 감쇠가 최소로 되는 기지국  $X_o$ 와 동작하게 된다는 것을 의미하기 때문에 인접의 셀로부터의 간섭  $I_o$ 를 계산할 때 포함되어서는 안된다. 따라서 위의 조건을 함수  $h(\delta_i-\zeta_i, r/R)$ 로 정의하면 다음과 같다.

$$h(\delta_i-\zeta_i, r/R) = \begin{cases} 1 & (r/R)^\gamma 10^{(\delta_i-\zeta_i)} \leq 1 \\ 0 & \text{그 밖의 영역} \end{cases} \quad (15)$$

식(15)의 조건을 이용하여 기지국  $X_o$ 의 서비스 면적에 포함되지 않은 이동체로부터의 전체의 간섭을 구하면 다음과 같이 주어진다.

$$I_i = \frac{SN_m}{\pi R_o^2} \sum_{i=1}^{N_m-1} \int_0^{2\pi} \int_0^{R_o} \frac{r^{\gamma+1} [10^{(\delta_i-\zeta_i)/10} h(\delta_i-\zeta_i, r/R)] dr d\theta}{(D_i^2 + r^2 - D_i r \cos\theta)^{\gamma/2}} \quad (16)$$

### III. Outage 확률

신호와 간섭 성분이 랜덤 변수로서 표현될 수 있기 때문에 임의의 이동체에 대해서 동작하고 있는 무선 링크의  $E_b/N_o$ 가 허용된 특성을 갖기 위하여 요구되는 최소값 이하로 될 수 있다. 이러한 경우가 발생할 확률을 outage 확률이라 하며, 이때의 outage 확률  $P_o$

는 다음과 같다[6].

$$P_o = \Pr\{(E_b/N_o) < (E_b/N_o)_o\} \quad (17)$$

원하는 셀에 있는 다른 이동체와 인접 셀에 있는 이동체로부터 발생되는 전체의 간섭에 대한 분포를 구하여야 한다. 셀의 구획화 갯수와 음성 통화율 그리고 다른 셀로부터의 간섭의 통계적인 분포가 주어졌을 때 역방향 링크에 대한 원하는 이동체에 수신된  $E_b/N_o$ 는 랜덤 변수가 되어 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$E_b/N_o = \frac{W/R_b}{\sum_{i=1}^{N_m-1} X_i + (I_i/S) + (\eta/S)} \quad (18)$$

여기서  $N_m$ 은 섹터당 이동체수가 되며  $\eta$ 는 잡음전력이고  $I_i$ 는 인접 셀의 이동체로부터의 간섭이다.  $X_i$ 는 통화가 일어날 때는 1 그렇지 않을 때는 0인 랜덤 변수이며 각각의 확률을 음성 통화율  $\beta$ 로 나타내면 다음과 같이 주어진다.

$$\Pr\{X_i=1\} = \beta, \quad \Pr\{X_i=0\} = 1-\beta \quad (19)$$

식(18)을 식(17)에 대입하여 outage 확률을 구하면 다음과 같다.

$$P_o = \Pr\left\{\sum_{i=1}^{N_m-1} X_i + I_i/S > \Omega\right\} \quad (20)$$

여기서  $\Omega = \frac{W/R_b}{(E_b/N_o)_o} - \frac{\eta}{S}$  이다.  $X_i$ 가 식(19)와 같은 binomial분포를 갖고,  $I_i/S$ 는 평균이  $E_I$ , 분산이  $\sigma_I^2$ 인 가우시안 랜덤 변수이고 모든 랜덤 변수는 상호 독립이다. 따라서 식(20)을 계산하면 다음과 같다.

$$P_o = \sum_{k=0}^{N_m-1} \Pr\{I_i/S > \Omega - k \mid \sum_i X_i = k\} \Pr\{\sum_i X_i = k\} \\ = \sum_{k=0}^{N_m-1} \binom{N_m-1}{k} \beta^k (1-\beta)^{N_m-1-k} \cdot Q\left(\frac{\Omega - k - E_I}{\sigma_I}\right) \quad (21)$$

여기서  $Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$ 이다. 그리고 [6]의 유도 과정을 이용하여  $E_I$ 와  $\sigma_I^2$ 를 구하면 다음과 같다.

$$E_I = E[I_i/S] = \beta \iint \frac{r^{\gamma+1}}{R^\gamma} f(r/R) dr d\theta \quad (22)$$

$$\sigma_i^2 = \text{Var}[I_i/S] = \int \int \frac{r^{2\gamma+1}}{R^{2\gamma}} [\beta g(r/R) - \beta^2 f(r/R)] dr d\theta \quad (23)$$

여기서  $f\left(\frac{r}{R}\right) = e^{(\alpha_s \ln 10/10)^{\gamma}}$

$$\left\{ 1 - Q \left[ \frac{10\gamma}{\sqrt{2\sigma_s^2}} \log(r/R) - \sqrt{2\sigma_s^2} \frac{\ln 10}{10} \right] \right\}, \text{ 이고}$$

$$g\left(\frac{r}{R}\right) = e^{(\alpha_s \ln 10/5)^{\gamma}}$$

$$\left\{ 1 - Q \left[ \frac{10\gamma}{\sqrt{2\sigma_s^2}} \log(r/R) - \sqrt{2\sigma_s^2} \frac{\ln 10}{5} \right] \right\} \text{ 이다.}$$

IV. 성능 평가

채널 특성과 시스템 변수가 주어졌을 때 섹터당 이동체 수의 함수로서 outage 확률을 구할 수 있다. 이 outage 확률을 계산하기 위하여, 음성 통화율  $\beta = 3/8$ 로 셀 당의 섹터 수  $N=3$ 으로 가정한다[6]. 잡음 전력  $\eta$ 는 간섭 전력에 비해서 무시될 수 있는 양으로 가정한다. 또한 듀얼 안테나 다이버시티를 사용하는 구속장이 9이고 1/3의 비율로 콘블루션 코드화된 신호에 대한 가우시안 잡음 채널에서 BER이  $10^{-3}$  이하로 되기 위한  $(E_b/N_0)_0$ 는 7dB이다. 그리고 정보 비트율  $R_b$ 를 9.6Kbps, 확산 대역폭  $W$ 를 1.25MHz라고 가정한다[9]. 인접 셀로부터의 간섭은 원하는 셀의 지국으로부터 3개의 케도에 걸쳐 있는 셀 들을 가정하여 계산된다. 여기서 인접 셀의 갯수는 첫 번째 케도에 6개, 2번째 케도에 12개 그리고 3번째 케도에 18개가 된다.

A. 전파손실계수가 시스템의 용량에 미치는 영향

그림 3, 4, 5는 음성 통화율  $\beta = 3/8$  이고 인접 셀의 통화량이 중심 셀의 그것과 같을 때 전파손실계수  $\gamma$ 에 따른 인접 셀로부터의 간섭 전력의 평균과 분산 그리고 주파수 재사용 효율을 나타내고 있다. 이들 그림으로부터 알 수 있듯이 전파손실계수가 증가함에 따라 간섭 전력의 평균과 분산의 크기는 감소하게 되어 주파수 재사용 효율이 커진다. 그림6은  $\gamma$ 가 2, 3, 4, 5일 때 시스템의 outage 확률과 섹터 당 사용자 수와의 관계를 표시한 곡선이다. 이 그림으로부터 CDMA의 용량은 경로 손실에 매우 민감하다는 사실

을 알 수 있다. outage 확률이 1%이고  $\gamma = 4$  일 때 CDMA의 섹터당 사용자수는 31로 셀 당 사용자수는 93이 된다. 그림7은  $\gamma$ 를 2에서부터 5까지 변화시키면서 각각의 경우에 대한 용량을  $\gamma = 4$  일 때의 용량으로 표준화시킨 CDMA의 섹터 당 사용자 수이다. 이 결과를 이용하여 아날로그 셀룰러 FM/FDMA와 디지털 셀룰러 TDMA를 디지털 셀룰러 CDMA의 용량과 비교할 수 있다. FM/FDMA와 TDMA는 1.25MHz의 대역폭 내에 30KHz로 채널이 할당되어 있으며 중심 셀 인접에 있는 6개의 셀이 각각 다른 주파수 대역을 요구하기 때문에 그것의 주파수 재사용 효율은 1/7이 된다. 그러므로 FM/FDMA와 TDMA의 채널 수는 42개이기 때문에 FM/FDMA의 셀당 사용자 수는 6 이하이고 TDMA는 3명의 사용자가 한 채널을 공유하므로 셀당 사용자 수는 18이하가 된다. 따라서  $\gamma = 4$  일 때의 CDMA 시스템의 용량은 FM/FDMA와 TDMA의 용량보다 각각 15배와 5배 가량 더 크다는 것을 알 수 있다.

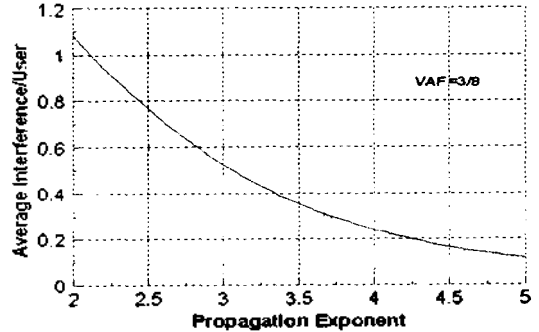


그림 3. 전파 손실계수에 대한 사용자당 평균 간섭 전력

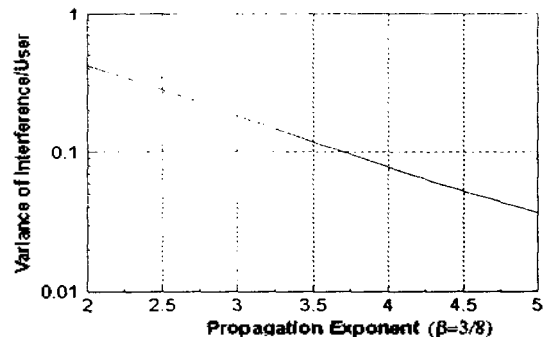


그림 4. 전파 손실계수에 대한 사용자당 간섭 전력의 분산

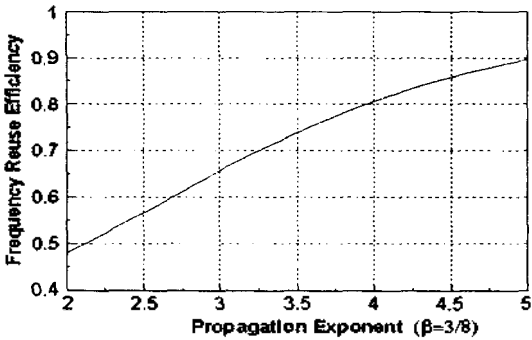


그림 5. 전파 손실계수에 대한 주파수 재사용 효율

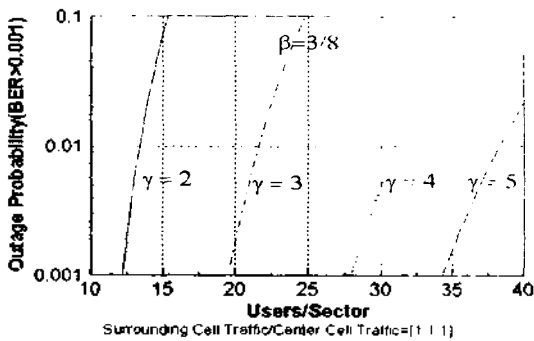


그림 6. 전파 손실 계수에 대한 섹터 당 사용자수와 outage 확률과의 관계

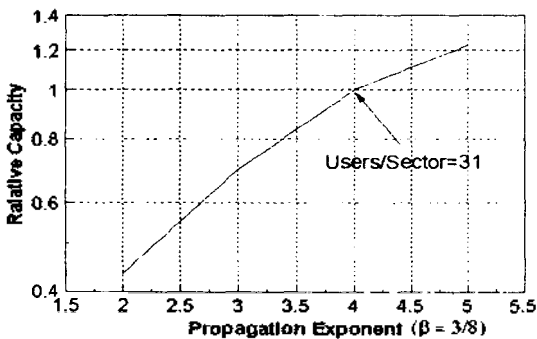


그림 7. 전파 손실계수에 대한 CDMA 시스템의 상대적인 용량

**B. 음성 통화율이 시스템의 용량에 미치는 영향**

그림8은  $\gamma=2$ 와  $\gamma=4$  일 때 음성 통화율에 대한 주파수 재사용 효율을 나타내고 있다. 음성 통화율을 0.2에서 1까지 증가시킬 때 주파수 재사용 효율이 감

소함을 알 수 있다. 따라서 시스템의 용량은 음성 통화율에 역 비례할 것으로 예상할 수 있으며, 이 사실은 그림9의 음성 통화율에 대한 시스템의 상대적인 용량을 나타낸 곡선으로부터 분명해 진다. 여기서 나타난 CDMA 시스템의 상대적인 용량은  $\beta=3/8$  일 때의 용량으로 표준화한 것이다.

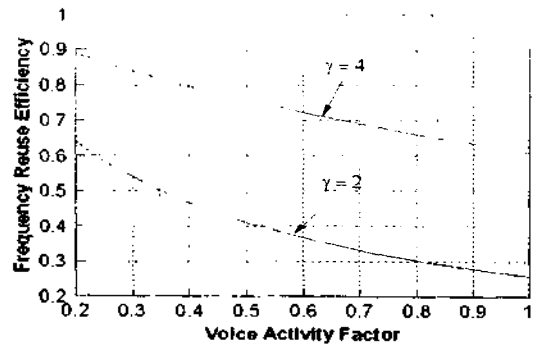


그림 8.  $\gamma=2$ 와  $\gamma=4$ 일 때 음성 통화율에 대한 주파수 재사용 효율

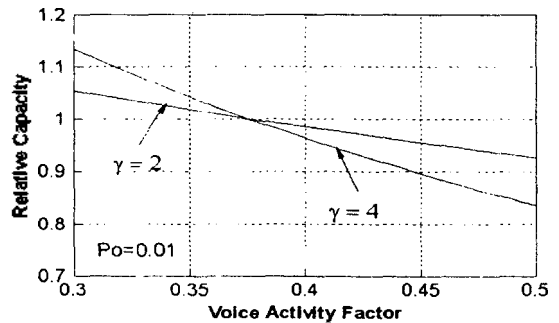


그림 9.  $\gamma=2$ 와  $\gamma=4$ 일 때 음성 통화율에 대한 CDMA 시스템의 상대적인 용량

**C. 인접 셀의 통화량 변화가 시스템의 용량에 미치는 영향**

중심 셀의 통화량에 대한 각 계도에 속해 있는 셀의 통화량과의 비를 변화시킴으로써 인접 셀로부터의 간섭이 시스템의 용량에 미치는 영향을 조사한다. 이 때 각 계도의 중심 셀의 통화량에 대한 각 계도의 통화량과의 비를  $[R1 R2 R3]$ 라 하고 이들을 0에서부터 2까지 변화시킨다. 그림10과 그림11은 전파손실 계수가 각각 2와 4일 때 인접 셀의 통화량의 비에 대한

시스템의 용량을 [1 1 1]인 시스템 용량으로 규준화 하여 나타낸 것이다. 이들 그림으로 부터에서 알 수 있듯이  $\gamma=2$ 일 때 두 번째 레도와 세 번째 레도에 있는 셀의 통화량 변화에 따른 각각의 용량은 거의 같으며,  $\gamma=4$ 일 때는 CDMA 시스템의 용량은 R2 보다 R1, R3의 변화에 더 민감하는 것을 알 수 있다.

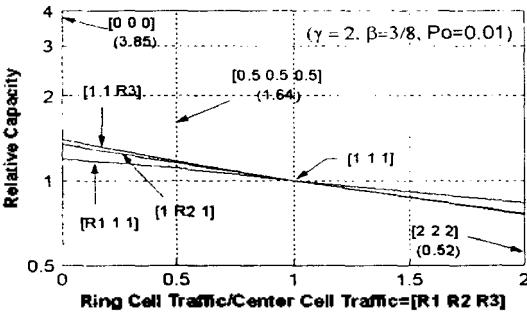


그림 10.  $\gamma=2$ 일 때 중심 셀과 인접 셀의 통화량의 비에 따른 CDMA 시스템의 상대적인 용량

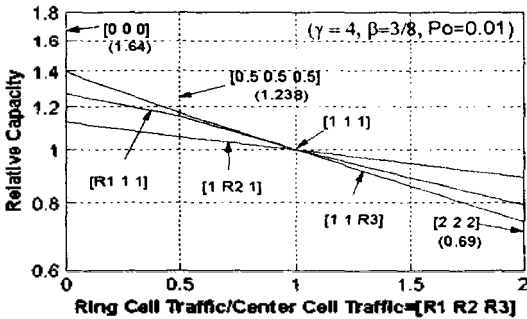


그림 11.  $\gamma=4$ 일 때 중심 셀과 인접 셀의 통화량의 비에 따른 CDMA 시스템의 상대적인 용량

### V. 결 론

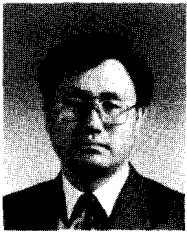
본 논문에서는 37개의 셀을 대상으로 역방향 링크 (이동체-기지국)에 대하여 주어진 다양한 시스템 변수에 따른 디지털 셀룰러 CDMA 시스템의 용량을 평가하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다. (1) 전파손실계수가 증가함에 따라 디지털 셀룰러 CDMA 시스템의 용량은 증가한다. 음성 통화율을 3/8으로 놓고 전파손실계수를 2에서 5까지 변화 시킬 때 CDMA 시스템의 용량은 약 3배 증가한다. (2)  $\gamma=4$

일 때 디지털 셀룰러 CDMA의 용량은 아날로그 셀룰러 FM/FDMA와 디지털 셀룰러 TDMA에 비하여 각각 15배와 5배 가량 크다. (3) 음성 통화율이 변할 때 CDMA 시스템의 용량에 있어서의 변화는 전파손실계수가 큰 경우가 작은 경우보다 크다.  $\gamma=2$ 와  $\gamma=4$ 에 대하여 음성 통화율을 0.3에서 0.5까지 변화시키면 CDMA 시스템의 용량은 각각 0.88배와 0.74배로 감소한다. (4) CDMA의 용량은 인접하고 있는 셀의 통화량에 매우 민감하다. 특히 전파손실계수가 작을 때 인접 셀로부터의 간섭이 커지기 때문에 적절한 CDMA 서비스 영역을 선택하기 위해서는 채널의 경로 특성을 정확하게 알아야 한다.

### 참 고 문 헌

1. R. L. Pickholz, et al, "Spread Spectrum for Mobile Communications," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 2, pp313-321, May 1991
2. W. C. Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 40, No. 2, pp291-301, May 1991.
3. W. C. Y. Lee, "Mobile Communication Engineering," McGraw-Hill, 1982.
4. G. R. Cooper and R. W. Nettleton, "A Spread Spectrum Technique for High Capacity Mobile Communication," IEEE Trans. on Vehicular Technology vol. VT-27, No. 4, pp264-275, Nov. 1978.
5. J. S. Lehnert and M. B. Pursley, "Error Probability for Binary Direct-Sequence Spread Spectrum Communication with Random Signature Sequences," IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-35, No. 1, pp87-98, Jan. 1987.
6. K. S. Gilhousen et al, "On the Capacity of a Cellular CDMA System," IEEE Trans on Vehicular Technology, vol. VT-40, No. 2, pp303-312, May. 1991.
7. J. G. Proakis, "Digital Communications," Second Edition, McGraw-Hill, 1989.
8. P. Newson, "An Analysis of the Effects of Power Control Error within a Direct Sequence CDMA System for Mobile Radio," IEEE Globecom'93, pp924-928
9. E. G. Tiedemann, A. B. Salmasi, and K. S. Gilhousen, "The Design and Development of a Code Division Multiple Access(CDMA) System for Cellular and Personal Communications," 1991 IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Communication, pp131-136, 1991

▲박 응 서(Yong Seo Park)



1982년 2월 : 연세대학교 전기공  
학과 졸업(공학사)

1984년 2월 : 연세대학교 대학원  
전기공학과 졸업  
(공학석사)

1988년 8월 : 연세대학교 대학원  
전기공학과 졸업  
(공학박사)

1989년 3월~현재 : 경원대학교 전기공학과 조교수