

# 대수정규-나카가미(Nakagami)페이딩을 받은 간섭파가 불완전 전력제어된 DS/CDMA 셀룰러 시스템에 미치는 영향

정회원 현근주\*, 김남수\*\*

## Effect of the Log normal-Nakagami Faded Interferers on Imperfect power-controlled DS/CDMA cellular system

Keun-Ju Hyun\*, Nam-Su Kim\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 대수정규 섀도잉(shadowing)과 나카가미(Nakagami) 페이딩을 함께 받은 타 시스템의 동일 채널 간섭파가 불완전 전력제어된 DS/CDMA 셀룰러 시스템의 용량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석에는 먼저 간섭을 고려하지 않고 불완전 전력제어만을 해석한 Prasad와 Jansen의 결과와 비교하였으며, 대수정규-나카가미 페이딩을 받은 다중 간섭은 Schwartz와 Yeh가 제시한 방법을 적용하여 DS/CDMA 시스템의 미치는 영향을 오수신확률로 유도하였다. 유도한 오수신확률에 대해 불완전 전력제어, 페이딩 지수, 처리이득, 전력비, 간섭수, 음성화율 등을 파라미터로 하여 각각의 상황에서 DS/CDMA 시스템의 가입자 용량 감소를 분석하였다. 결과로부터 DS/CDMA 시스템의 용량은 전력제어 오차와 간섭파의 증가에 매우 민감하며 전력제어 오차가 클수록, 무선채널 환경의 페이딩이 심할수록, 또한 간섭파의 수가 증가할수록 감소하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we analyze the effect of co-channel interferers coming from other systems with composite log-normal shadowing and Nakagami fading on the capacity of the imperfect power-controlled DS/CDMA cellular system. The analytical results are compared with the results of Prasad and Jansen in which they derive the result under the condition of imperfect power-control of DS/CDMA system and without considering interference. And the outage probability is calculated from the effect of the log-normal/Nakagami faded interferers on DS/CDMA system using Schwartz and Yeh's method. With the deviation of outage probability, we analyzed the decreases in the capacity of DS/CDMA system with the variation of the parameters of the imperfect power-control, the fading index, the processing gain, the power ratio, the voice activity factor, and the number of interferers. Analysis results have shown that the capacity of DS/CDMA system is very sensitive to the imperfect power-control and the number of interferers. It is shown that the DS/CDMA system capacity decreased according to the increase of the deviation of the imperfect power-control, the increase of the fading and the increase of interferer number.

### I. 서론

기존의 아날로그 셀룰러 시스템보다 디지털 셀룰러 시스템은 간섭신호에 강하며 높은 사용자 수용 용량을 가지는 것으로 알려져 있다. 특히, DS/CDMA

\* 배스전자 기술연구소, Cellular/GSM 파트(kjhyun@maxon.co.kr),

\*\* 제주대학교 정보통신공학부 이동통신 연구실(nskim@chongju.ac.kr),  
논문번호: 98301-0715, 접수일자: 1998년 7월 15일

(Direct Sequence/Code Division Multiple Access) 방식은 가입자의 수가 증가함에 따라 그 가입자들의 간섭에 의해 전체 용량이 감소하는 간섭제한(interference limited) 시스템이다<sup>[1,2]</sup>. DS/CDMA 방식에서 원근문제(Near-far problem)는 시스템의 용량과 성능을 급속하게 감소시키며 통화중단 등의 문제를 발생시킨다. 이러한 원근문제와 무선환경 채널의 영향에 대처하기 위해서 전력제어(power-control)가 필요하다.

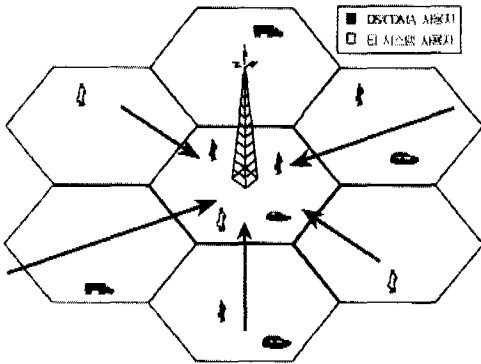


그림 1. DS/CDMA 셀룰러 시스템의 셀 구조와 간섭

최근 DS/CDMA 시스템의 사용자 수용용량에 관한 연구로는 전력제어 또는 페이딩 채널 영향을 고려한 여러 논문들이 발표되고 있다<sup>[3-6]</sup>. 참고문헌 [3,4]에서는 간섭을 고려하지 않고 전력제어가 불완전할 때 DS/CDMA 시스템의 성능저하를 분석하였고, 간섭을 고려한 참고문헌 [6]에서는 불완전 전력 제어된 DS/CDMA 시스템에 나카가미(Nakagami) 페이딩을 받은 AMPS의 간섭파가 미치는 영향을 분석하였으나, 전파음영을 고려하지 않았다.

그러므로, 본 논문에서는 첫번째, AMPS와 같은 타 시스템으로부터의 동일 채널 간섭이 대수정규 섀도잉(Log-normal shadowing)과 나카가미 페이딩을 함께 받았을 경우 DS/CDMA 시스템의 용량에 미치는 영향을 분석하였다. 둘째로 타 시스템의 간섭파는 전력제어를 받지 않으므로 표준편차가 일반적으로 4 dB보다 커서 Fenton이 제시한 방법<sup>[7]</sup>을 적용하기에는 적합하지 않다. 이에 본 논문에서는 더 넓은 범위에서 적용되는 Schwartz와 Yeh가 제시한 방법<sup>[8]</sup>으로 다중파 간섭을 분석하였다.

본 논문의 구성은 제 2장에서는 채널환경을 대수정규 섀도잉과 나카가미 페이딩이 결합한 간섭파가 불완전 전력제어된 DS/CDMA 시스템의 미치는 영

향을 오수신확률(outage probability)로 유도하였고, 제 3장에서는 분석한 오수신확률로부터 각 파라메타 변경에 따른 DS/CDMA 시스템의 용량변화를 계산하였다. 제 4장에서는 분석 결과에 관하여 서술하였다.

## II. 간섭파가 DS/CDMA 시스템에 미치는 오수신확률

기지국으로부터 불완전 전력제어를 받은 이동국이 기지국으로 송신할 때, 기지국에 수신된 수신전력  $P_{cdma}$ 에 대한 확률밀도함수는 대수정규분포를 갖는다고 알려져 있다<sup>[3,4]</sup>. 식(1)은 대수정규분포를 하는  $P_{cdma}$ 에 대한 확률밀도함수에 관한 식이다.

$$f_{P_{cdma}}(P_{cdma}) = \frac{\xi}{\sqrt{2\pi}\sigma_d P_{cdma}} \exp\left(-\frac{(\xi \ln P_{cdma} - \mu_d)^2}{2\sigma_d^2}\right) \quad (1)$$

여기서  $\xi = 10 / \ln 10 = 4.343$  이고,  $\mu_d$ 는 대수 평균값(dB),  $\sigma_d$ 는 대수 표준편차(dB)이다. 완벽한 전력 제어에서의 표준편차는 0 dB가 되어 서비스 영역 안에서 기지국이 각각의 이동국으로부터 수신한 전력은 일정하다. 그러나, 실제적인 전력조절 시스템에서 기지국에 수신된 평균전력은 전력제어 시스템의 적응속도, 알고리즘, 송신기 전력제어의 출력범위(Dynamic range), 섀도잉, 다중경로 페이딩과 같은 무선채널의 특성이 수신전력의 확률밀도함수에 영향을 미쳐 완벽하게 전력제어가 되지 않는다. 실제 기지국에서 수신된 신호전력의 표준편차는 1 dB에서 2 dB 정도로 측정되었다<sup>[10]</sup>.

동일 셀 내에서  $k$ 개의 DS/CDMA 셀룰러 시스템 이동국이 동시에 통화한다면 ( $k-1$ )개의 이동국들은 간섭으로 작용한다. 이를 다중역세스 간섭(MAI: Multiple Access Interference)이라 한다. ( $k-1$ )개의 간섭 이동국들은 각각 전력제어를 받으며, 이들이 서로 독립이고 동일한 대수정규분포를 갖는다고 가정하면 ( $k-1$ )개의 간섭 이동국들은 각각의 간섭전력의 합으로 나타낼 수 있다. 식(2)는 다중역세스 간섭  $P_{MAI}$ 를 간섭전력의 합으로 표현한 식이다.

$$P_{MAI} = \sum_{i=1}^{k-1} P_{mai} \quad (2)$$

여기서  $P_{mai}$ 는  $i$ 번째 DS/CDMA 시스템 이동국

의 전력이다. 각각의 간섭 이동국들 또한, 대수정규 분포를 갖는데 표준편차가 4 dB 이내에는 Fenton이 제시한 방법으로 계산할 수 있으며, 4 dB에서 12 dB 사이의 값을 갖는 경우에는 Schwartz와 Yeh가 제시한 방법으로 계산한다<sup>7,9)</sup>. 이 논문에서는 전력 제어를 받지 않는 타 시스템의 동일채널 간섭을 고려하므로 일반적으로 약 8 dB 정도의 표준편차를 갖는다. 그러므로, 대수정규 섀도잉에서의 표준편차 범위는 4 dB 보다 큰 범위이므로 Fenton 방식보다는 더 넓은 범위에서 적용되는 Schwartz와 Yeh의 방법으로 분석하였다. 식(3)과 (4)는 Schwartz와 Yeh가 제시한 방법으로 평균값 및 표준편차를 표현한 식이며, 단위는 dB이다<sup>7,9)</sup>.

$$\mu_{mai}(k-1) = \mu_i + G_1 \quad (3)$$

$$\sigma_{mai}^2(k-1) = \sigma_i^2 - G_1^2 - 2\sigma_i^2 G_3 + G_2 \quad (4)$$

여기서  $\mu_i = (1/\xi) \mu_{dB}$ ,  $\sigma_i^2 = (1/\xi) \sigma_{dB}^2$ 으로 계산하며, 함수  $G_1, G_2, G_3$ 는 다음과 같다.

$$G_1 = \mu_w \Phi\left(\frac{\mu_w}{\sigma_w}\right) + \frac{\sigma_w}{\sqrt{2\pi}} e^{-\mu_w^2/2\sigma_w^2} + \sum_{k=1}^{\infty} c_k e^{k^2\sigma_w^2/2} \left[ e^{k\mu_w} \Phi\left(\frac{-\mu_w - k\sigma_w^2}{\sigma_w}\right) + T_1 \right] \quad (5)$$

$$G_2 = \sum_{k=1}^{\infty} b_k T_2 + \left[ 1 - \Phi\left(\frac{-\mu_w}{\sigma_w}\right) \right] (\mu_w^2 + \sigma_w^2) + \frac{\mu_w \sigma_w}{\sqrt{2\pi}} e^{-\mu_w^2/2\sigma_w^2} + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \cdot e^{-(k+1)\mu_w + (k+1)^2\sigma_w^2/2} \Phi\left[\frac{\mu_w - \sigma_w^2(k+1)}{\sigma_w}\right] - 2 \sum_{k=1}^{\infty} c_k e^{(-\mu_w + k^2\sigma_w^2/2)} \left[ \mu_k \Phi\left(\frac{-\mu_k}{\sigma_w}\right) - \frac{\sigma_w}{\sqrt{2\pi}} e^{-\mu_k^2/2\sigma_w^2} \right] \quad (6)$$

$$G_3 = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k e^{k^2\sigma_w^2/2} T_1 + \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k T_2 \quad (7)$$

$$T_1 = e^{-k\mu_w} \Phi\left(\frac{\mu_w - k\sigma_w^2}{\sigma_w}\right) \quad (8)$$

$$T_2 = e^{[\mu_w(k+1) + (k+1)^2\sigma_w^2/2]} \Phi\left(\frac{-\mu_w - \sigma_w^2(k+1)}{\sigma_w}\right) \quad (9)$$

여기서  $\mu_w = \mu_2 - \mu_1$ ,  $\sigma_w^2 = \sigma_2^2 + \sigma_1^2$ 이며,

$$\mu_k = -\mu_w + k\sigma_w^2, \quad c_k = \frac{(-1)^{k+1}}{k},$$

$$b_k = \frac{2(-1)^{k+1}}{k+1} \sum_{j=1}^k j^{-1}, \quad \Phi(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}(x/\sqrt{2})$$

이다.  $\operatorname{erf}(\cdot)$ 는

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt \quad (10)$$

그림 2는 두개의 대수정규분포 전력 합의 평균과 표준편차를 Fenton 방식과 Schwartz와 Yeh가 제시한 방식을 표준편차 변화에 따라 서로 비교하였다. 그림에서처럼 Fenton이 제시한 방식은 표준편차가 4 dB에서부터 오차가 있음을 알 수 있다.

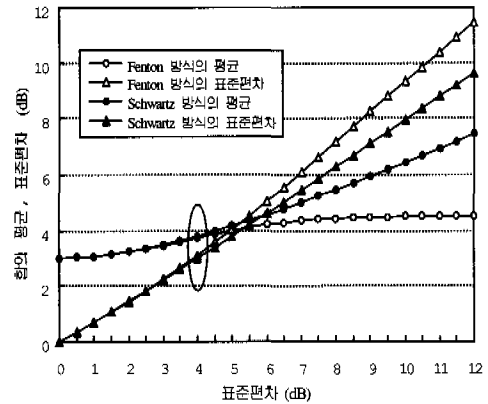


그림 2. 대수정규분포 전력 합의 평균과 표준편차:  $\mu_i = 0\text{dB}, i = 1, 2$ .

Schwartz와 Yeh가 제시한 식(3)과 (4)를 식(1)에 적용하면  $(k-1)$ 개의 DS/CDMA 간섭 이동국에 대한 수신전력밀도 함수를 구할 수 있다. DS/CDMA 시스템의 이동국과 AMPS와 같은 다른 접속방식의 이동국이 동시에 같은 주파수대를 이용하여 송신하게 되면 타 시스템의 이동국은 DS/CDMA 시스템에 간섭으로 작용한다. 여기서 타 시스템의 채널 모델은 간섭 이동국이 송신하는 신호가 무선채널에서 섀도잉을 받는 경우와 가장 일반적인 나카가미 페이딩이 결합한 경우로 가정하였다. 즉, 간섭파 신호의 진폭이 이 두 채널 모델의 영향을 받고 기지국에 수신된다고 가정하였다. 이러한 환경은 일반적으로 느리게 움직이는 보행자와 이동체가 많은 혼잡한 도심지인 지역에 해당하며, 이 둘이 결합한 수신 신호의 진폭(squared-envelope)은 대수정규-나카가미

(log-normal/Nakagami) 분포를 하며 식(11)과 같다 [11,12].

$$f_{P_{ampsi}}(P_{ampsi}) = \int_0^\infty \left( \frac{m}{P_{ampsi}} \right)^m \frac{P_{ampsi}^{m-1}}{\Gamma(m)} \cdot \exp\left[-\frac{mp_{ampsi}}{P_{ampsi}}\right] \times \frac{\xi}{\sqrt{2\pi\sigma_{shad}} P_{ampsi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\xi \ln \bar{P}_{ampsi} - \mu_{shad})^2}{2\sigma_{shad}^2}\right] d\bar{P}_{ampsi} \quad (11)$$

여기서  $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수이고,  $m$ 은 페이딩 정도를 나타내는 페이딩 지수(fading index)로서  $m = 1$  일때는 레일리(Rayleigh) 페이딩의 경우와 동일하며, 페이딩 지수가 커짐에 따라 페이딩의 영향이 약해지는 상태를 나타내고,  $m$ 이 무한대로 증가하면 페이딩이 존재하지 않는 상태를 의미한다. 대수정규 선택도잉에서의 표준편차 범위는 마이크로 셀룰러 환경에서 6내지 12 dB를 갖는데 본 논문에서는  $\sigma_{shad}$ 의 값을 이동무선 채널에서 관심있는 8 dB로 가정하여 분석하였다[11,13]. 이러한 확률분포함수의 적분 형태는 계산량이 많고 값을 구하기가 매우 복잡하다. 그러나, 대수정규-나카가미 확률밀도함수는 식(1)과 같이 새로운 대수정규 확률밀도함수로 근사화할 수 있다. 이때의 평균과 표준편차는 페이딩 지수  $m$ 값에 따라 변하며 다음과 같이 정의한다[11,12].

$$\mu_{ampsi} = \xi[\psi(m) - \ln(m)] + \mu_{shad} \quad (12)$$

$$\sigma_{ampsi}^2 = \xi^2 \zeta(2, m) + \sigma_{shad}^2 \quad (13)$$

$\psi(\cdot)$ 는 Euler psi 함수이고,  $\zeta(\cdot, \cdot)$ 는 일반화된 Riemann's zeta 함수이다. DS/CDMA 시스템과 같이 간섭과  $L$ 개의 신호들이 서로 독립이고, 동일한 확률분포를 갖는다고 가정하면, 수신된 간섭신호의 전력  $P_{AMPSI}$ 는 간섭과 이동국 각각의 전력을 합한 식(14)와 같다.

$$P_{AMPSI} = \sum_{i=1}^L P_{ampsi} \quad (14)$$

$P_{ampsi}$ 는  $i$ 번째 간섭과 이동국의 전력이다. 먼저, DS/CDMA 시스템이 동일채널을 사용하는 타 시스템으로부터 간섭을 받고 수신되는 신호의 성능을 측정하기 위해 오수신확률  $P_{out}$ 을 유도하였다[14-16]. 오수신확률  $P_{out}$ 은 수신하고자 하는 신호 성분이 제

대로 수신되지 않을 확률로 수신성분 대 간섭성분의 비가 기준값(Protection ratio 또는 Threshold)  $q$ 보다 작을 확률이다.

$$P_{out} = P_r\left(\frac{S}{I} < q\right) = 1 - \int_0^\infty f_I(x) dx \int_q^\infty f_S(y) dy \quad (15)$$

여기서  $S$ 는 수신성분의 신호전력이고,  $I$ 는 간섭성분의 전력,  $q$ 는 기준값이다. 그리고,  $f_S(\cdot)$ 는 희망과 전력의 확률밀도함수,  $f_I(\cdot)$ 는 간섭과 전력의 확률밀도함수이다. 희망과 전력의 확률밀도함수는 식(1)과 같이 대수정규분포를 갖고 간섭과 전력의 확률밀도함수인 경우는 DS/CDMA 시스템에서 ( $k-1$ )개의 다중역세스 간섭과  $L$ 개의 타 시스템으로부터의 동일채널 간섭이다. 즉, ( $k-1$ )개의 DS/CDMA 이동국으로부터 수신한 수신전력  $P_{MAI}$ 와 타 시스템 이동국으로부터 수신한 수신전력  $P_{AMPSI}$ 를 합한 값이다. 그런데  $f_S(x)$ 신호의 확률밀도함수에서  $f_{mai}(x)$ 와  $f_{ampsi}(x)$ 가 각각 동일한 대수정규분포를 하고 있고 서로가 독립이라면  $f_I(x)$ 신호를 식(16)으로 표현할 수 있다.

$$f_I(x) = \frac{\xi}{\sqrt{2\pi\sigma_I} x} \exp\left(-\frac{(\xi \ln x - \mu_I)^2}{2\sigma_I^2}\right) \quad (16)$$

이때, 평균  $\mu_I$ 는  $\mu_{mai}$ 와  $\mu_{ampsi}$ 을 Schwartz와 Yeh가 제시한 방법인 식(3)으로, 표준편차  $\sigma_I$ 는  $\sigma_{mai}$ 와  $\sigma_{ampsi}$ 을 식(4)로 계산한다. 식(15)에서  $\gamma = S_{dB} - I_{dB}$ 라 놓고  $P_{out}$ 을 계산하면

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_r\left(\frac{S}{I} < q\right) = P_r(S_{dB} - I_{dB} < q_{dB}) \\ &= P_r(\gamma < q_{dB}) \\ &= \int_{-\infty}^{q_{dB}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_r)^2}{2\sigma_r^2}\right) dx \\ &= 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{q_{dB} - \mu_r}{\sqrt{2\sigma_r}}\right) \end{aligned} \quad (17)$$

여기서 평균  $\mu_r$ 은 식(18)로 표준편차  $\sigma_r$ 는 식(19)로 정의한다.

$$\mu_r = \mu_d - \mu_i \quad (18)$$

$$\sigma_r^2 = \sigma_d^2 + \sigma_i^2 \quad (19)$$

$erfc(\cdot)$ 는

$$erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-u^2) du \quad (20)$$

기준값  $q$ 는 식(21)과 같다.

$$q = \frac{1}{PG} \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{\min} \quad (21)$$

$(E_b/N_0)_{\min}$ 는 기지국 수신기에서 시스템의 성능을 유지하기 위한 최소한의 비트당 에너지 대 잡음밀도이고, 처리이득  $PG$ (Process gain)는 시스템 전송 대역폭 대 전송비트율의 비로 현재 사용하고 있는 셀룰러 방식인 IS-95에서는 처리이득인 128을 기준으로 정하였다.

DS/CDMA 시스템에서 하나의 이동국 평균전력  $\bar{P}_{cdma}$ 와 타 시스템의 각 이동국의 평균전력  $\bar{P}_{amps}$ 의 비를  $R$ 로 정의한다.

$$R = \frac{\bar{P}_{cdma}}{\bar{P}_{amps}} \quad (22)$$

여기서 DS/CDMA 하나의 이동국 평균전력  $\bar{P}_{cdma} = \exp(\mu_d + \sigma_d^2/2)$ 이며,  $\mu_d$ 와  $\sigma_d$ 는 각각 식(1)에 주어진 평균과 표준편차이다.

DS/CDMA 시스템에서는 다중 액세스 사용자로부터 간섭을 줄여 수용용량을 증가시키는 방법의 하나로 음성활동 탐지(Voice activity monitoring)방식을 사용한다. 일반적으로 통화시에는 말을 계속하는 것이 아니라 간간히 말하거나 듣고 있어 음성활성화율(voice activity factor)이 계속해서 변화하므로 통화하지 않는 동안에는 송신하지 않는다. 일반적으로 음성활성화율  $\alpha$ 는 0.35 ~ 0.4(시간의 35% ~ 40%)로 반비례하여 음성활동 탐지가 사용된다면 다중 사용자 간섭은 감소되어 용량이 증가한다. 셀룰러  $N$ 개의 사용자가 있고 그 중  $k$ 개가 음성화율을 가진다고 고려하면 DS/CDMA 시스템의 오수신확률은 다음과 같다.

$$P_{out}^{\alpha}(N) = \sum_{k=1}^N P_{out}(k) \binom{N}{k} \alpha^k (1-\alpha)^{N-k} \quad (23)$$

이때,  $N$ 은 전체 가입자 수이고,  $k$ 는 통화를 하는

사용자(Active user), 그리고  $\alpha$ 는 음성화율이다.

### III. DS/CDMA 시스템의 성능 분석

다수의 대수정규-나카가미 페이딩을 받은 간섭파가 DS/CDMA 셀룰러 시스템에 미치는 성능분석 시뮬레이션에서 시스템의 가입자 용량은 오수신확률이 일반적으로  $10^{-2}$ 이하가 될 때, 한 셀당 최대 사용자수로 정의하였고, 수신기에서 시스템의 성능을 만족시키기 위해 필요한  $(E_b/N_0)_{\min}$ 는 7 dB로 가정하였다<sup>[13]</sup>.

그림3은 먼저 간섭파의 영향은 없고 다중억세스 간섭만이 존재할 때, 전력제어 오차  $\sigma_d$ 의 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 오수신확률을 분석하였다. 그림의 가로축은 DS/CDMA 가입자의 용량이며, 세로축은 전력제어에 따른 오수신확률이다. 그림에서와 같이 전력제어가 점차적으로 불완전할수록 오수신확률이  $10^{-2}$ 를 기준으로 가입자의 용량은 급격히 감소하였다.

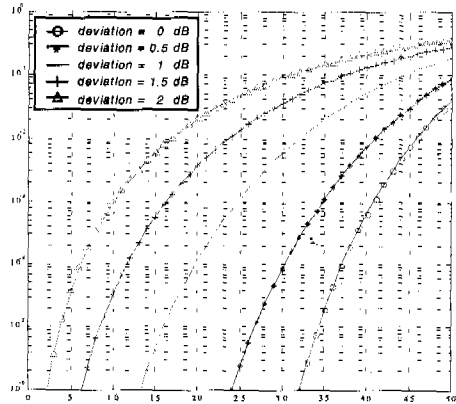


그림 3. 전력제어 오차에 따른 DS/CDMA 시스템의 오수신확률 :  $PG = 128$ ,  $(E_b/N_0)_{\min} = 7$  dB,  $\alpha = 0.4$ .

그림4는 다중억세스 간섭만이 존재할 때, 전력제어 오차에 음성화율을 변화 시키가면서 DS/CDMA 시스템의 용량변화를 분석하였다. 그림의 가로축은 불완전 전력제어 오차  $\sigma_d$ 이며, 세로축은 전력제어에 따른 DS/CDMA 가입자의 용량이다.

\*그림에서와 같이 전력제어가 커질수록 가입자의 용량은 감소하였고, 음성활성화율  $\alpha$ 가 작을수록 가입자의 용량은 증가하였으나, 전력제어 오차가 커질수록 음성활성화율  $\alpha$ 에 따른 가입자의 용량변화는 크지 않았다. 또한 Prasad가 제안한 처리이득 255와

IS-95에서 기준으로 정한 처리이득 128를 비교할 때 처리이득이 클수록 오수신확률이 더 작아 가입자의 용량을 증가시킬 수 있었다. 이러한 결과는 Prasad와 Jansen의 분석과 동일하였다<sup>[3,13]</sup>.

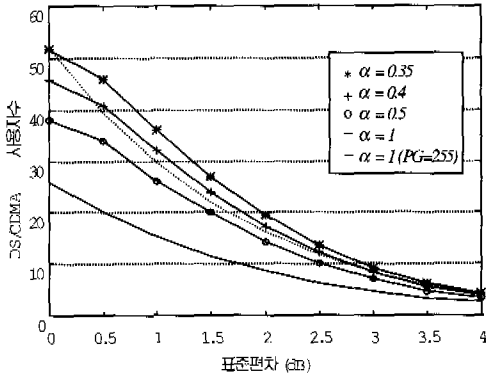


그림 4. 전력제어 오차에 따른 DS/CDMA 가입자 용량 : PG = 128,  $(E_b/N_o)_{min} = 7$  dB

그림 5는 대수정규-나카가미 페이딩을 받은 타 시스템의 간섭과 존재할 때, 불완전 전력제어 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 용량 감소를 나타내었다. 이때, 시뮬레이션에 사용한 R값 2는 DS/CDMA 이동국의 수신전력이 간섭과 이동국의 수신 전력보다 큰 경우를 가정하여 설정한 값이다. 이 그림의 가로축은 대수정규-나카가미 페이딩을 받은 간섭과의 수이고, 세로축은 DS/CDMA 사용자 용량이다. 그림으로부터 간섭과의 수가 5개이고 표준편차가 0.5 dB일 때 DS/CDMA 가입자수는 41명에서 28명으로 31.7% 감소하는 것을 볼 수 있다. 그리고 표준편차가 1 dB일 때 DS/CDMA 가입자수는 32명에서 21명으로 1.5dB일 때는 24명에서 14명으로 각각 34.4%, 41.7%로 감소하는 결과가 얻어졌다.

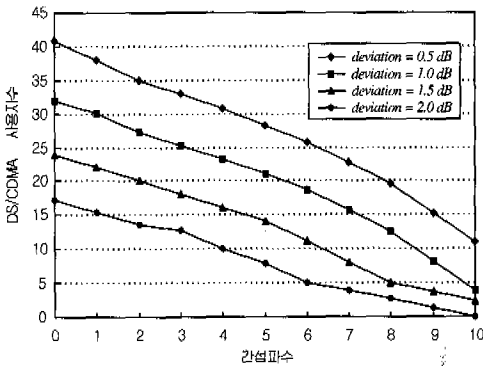


그림 5. 전력제어 오차에 따른 DS/CDMA 가입자 용량 : PG = 128,  $m = 1$ ,  $(E_b/N_o)_{min} = 7$  dB,  $R = 2$ ,  $\alpha = 0.4$ ,  $\sigma_{shad} = 8$  dB.

그림 6은  $(E_b/N_o)_{min}$ 의 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 용량감소를 나타내었다.  $(E_b/N_o)_{min}$ 값은 기준값 q에 변수로 작용한다. 그림으로부터 간섭과의 수가 10개이고  $(E_b/N_o)_{min}$ 값이 7 dB일 때 DS/CDMA 가입자 수는 34명에서 19명으로,  $(E_b/N_o)_{min}$  값이 8 dB이면 26명에서 10명으로,  $(E_b/N_o)_{min}$  값이 9 dB이면 20명에서 3명으로 각각 44.1 %, 61.5 %, 85 % 감소하는 것을 알 수 있다.

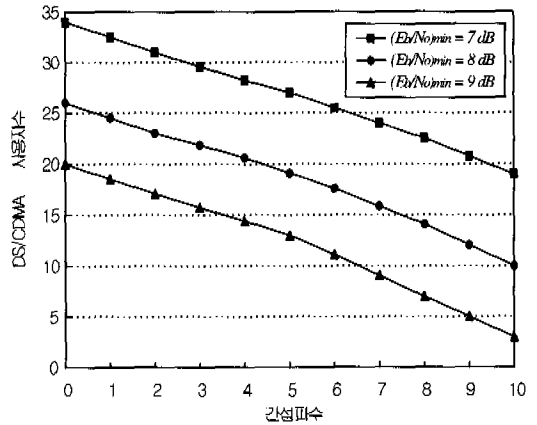


그림 6.  $(E_b/N_o)_{min}$ 에 따른 DS/CDMA 가입자 용량 : PG = 128,  $m = 1$ ,  $R = 3$ ,  $\alpha = 0.375$ ,  $\sigma_d = 1$  dB,  $\sigma_{shad} = 8$  dB.

그림 7은 페이딩 지수 m의 영향에 따른 DS/CDMA 시스템의 용량변화를 나타내었다. 그림에서 간섭과의 수가 10개이고 페이딩 지수가  $m = 1$ 일 때 DS/CDMA 가입자 수는 32명에서 4명으로  $m = 2$ 일 때는 12명,  $m = 10$ 일 때는 14명으로 각각 87.5 %, 62.5 %, 56.3 %로 감소하였다. 페이딩 지수 값이 작을수록 페이딩의 영향을 심하게 받아 가입자 용량이 더 감소하였다.

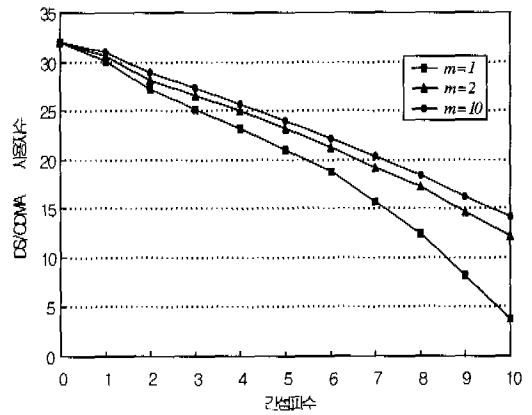


그림 7. 페이딩 지수의 변화에 따른 DS/CDMA 가입자 용량 : PG = 128,  $(E_b/N_o)_{min} = 7$  dB,  $R = 2$ ,  $\alpha = 0.4$ ,  $\sigma_d = 1$  dB,  $\sigma_{shad} = 8$  dB.

그림 8은 전력비  $R$ 값의 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 용량변화를 제시하였다.  $R$ 값이 1인 경우는 간섭과수가 8이 넘으면 DS/CDMA 사용자수는 통화불능으로 나타나지 않았다. 간섭수가 10인 경우,  $R$ 값이 2일 때는 34명에서 4명으로,  $R$ 값이 3이면 34명에서 19명으로 각각 88.2%, 44.1% 감소하여 간섭과의 전력비보다 DS/CDMA 이동국의 전력을 점점 증가할수록 더 많은 사용자를 얻을 수 있다.

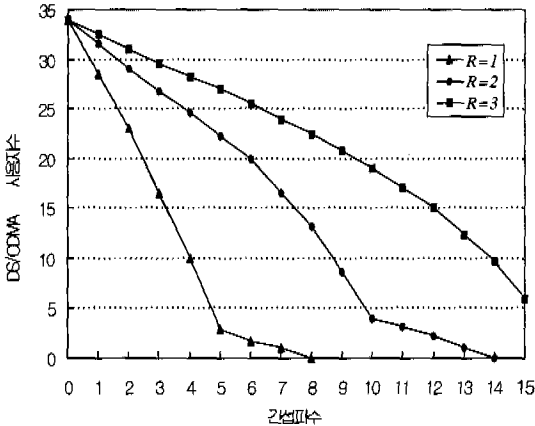


그림 8. 전력비의 변화에 따른 DS/CDMA 가입자 용량 :  $PG = 128$ ,  $(E_b/N_0)_{\min} = 7$  dB,  $m = 1$ ,  $\alpha = 0.375$ ,  $\sigma_d = 1$  dB,  $\sigma_{shad} = 8$  dB.

#### IV. 결론

DS/CDMA 셀룰러 시스템에서의 전력제어 오차는 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 이 외에도 가입자 상호간의 간섭, 무선 채널의 특성 등 여러가지 요인들이 시스템의 성능을 평가하는데 고려되어야 한다. 본 논문에서는 불완전 전력제어된 DS/CDMA 시스템에 타 시스템의 동일채널 간섭과가 미치는 영향을 오수신확률로 유도하였다. 이때, 타 시스템의 간섭은 대수정규 쉐도잉과 나카가미 페이딩을 함께 고려하였으며, Schwartz와 Yeh가 제시한 방법으로 다중 간섭과를 분석하였다. 유도한 오수신확률로부터 불완전 전력제어, 처리이득, 페이딩 지수, 간섭수, 전력비, 음성활성화율 등을 파라미터로 변화시켜 각각의 상황에서 DS/CDMA 시스템의 용량변화를 분석하였다. 분석 결과로부터  $PG = 128$ ,  $(E_b/N_0)_{\min} = 7$  dB,  $R = 2$ ,  $\alpha = 0.4$ ,  $\sigma_{shad} = 8$  dB 기준으로  $L = 5$ ,  $m = 1$ 에서 불완전 전력제어가  $\sigma_d = 0.5$  dB일 때는 31.7%로,  $\sigma_d = 1$  dB일

때는 34.4%,  $\sigma_d = 1.5$  dB일 때는 41.7%로 전력제어가 불완전할수록 DS/CDMA 사용자 용량은 점차적으로 감소하였고,  $L = 10$ ,  $\sigma_d = 1$  dB에서  $m = 10$ 일 때 56.3%,  $m = 2$ 일 때 62.5%,  $m = 1$ 일 때 87.5%로 페이딩이 심할수록, 간섭과의 수가 증가할수록 용량이 감소하는 결과가 얻어졌다. 또한,  $(E_b/N_0)_{\min}$  값이 커지면 커질수록 기준값  $q$ 가 커져 오수신 확률이 증가하면서 시스템 성능이 저하되어 DS/CDMA 시스템 용량이 감소함을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

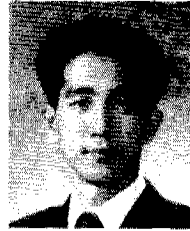
- [1] EIA/TIA, *IS-95 Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wide-band spread spectrum cellular system*, Feb. 1993.
- [2] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, and C.E. Wheatley, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 302-312, May 1991.
- [3] R. Prasad, A. Kegel and M. G. Jansen, "Effect of imperfect power control on cellular code division multiple access system," *IEE Electronic Letters*, vol. 28, no. 9, pp. 848-849, April 1992.
- [4] M. G. Jansen, R. Prasad, "Capacity analysis of a cellular direct sequence code division multiple access system with imperfect power control," *IEEE Trans. Commun.* vol. E76-B, no. 8, pp. 894-905, Aug. 1993.
- [5] M. Zorzi, "Power Control and Diversity in Mobile Radio Cellular Systems in the Presence of Ricean Fading and Log-Normal Shadowing," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 373-382, May 1996.
- [6] Nam-Soo Kim, "Capacity analysis of imperfect power controlled DS/CDMA cellular system with multiple Nakagami faded AMPS interferes," *VTC'97*, Phoenix, Arizona, pp. 1272-1276, May 1997.
- [7] L. F. Fenton, "The sum of log-normal probability distributions in scatter transmission system," *IRE Trans. on Commun. Systems*, vol.

C5-8, pp. 57-67, March 1960.

- [8] S. C. Schwartz and Y. S. Yeh, "On the distribution function and moments of power sums with log-normal components," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 61, pp. 1441-1462, Sept. 1982.
- [9] R. Prasad and J. C. Ambak, "Comments on analysis for spectrum efficiency in single cell trunked and cellular mobile radio," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-36, pp. 220-222, Nov. 1988.
- [10] M.Jansen, R. Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 94, no. 1, pp. 67-75, Feb. 1995.
- [11] G. L. Stber, *Principles of Mobile Commun.*, Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, pp. 92-107, 1996.
- [12] M. S. Alouini and A. Goldsmith, "Area spectral efficiency of cellular systems with Nakagami multipath fading," *IEEE VTC'97*, vol. 1, pp. 76-80, May. 1997.
- [13] Ramjee Prasad, *CDMA for wireless personal communication*, Artech House. Inc., pp.345-363, 1996.
- [14] Y.S. Yeh and S.C. Schwartz, "Outage probability in mobile telephony due to multiple lognormal interferers," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no. 4, pp. 380-388, 1984.
- [15] A. A. Abu-Dayya, N.C. Beaulieu, "Outage probabilities of cellular mobile radio systems with multiple Nakagami interferers," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. VT-40, pp. 757-768, Nov. 1991.
- [16] J.P. M. G. Linnartz, "Exact analysis of the outage probability in multiple-user mobile radio," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, no. 1, pp. 20-23, Jan. 1992.
- [17] J. Linnartz, *Narrowband land-mobile radio networks*, Artech House. Inc., 1993.

현근주(Keun-Ju Hyun)

정회원



1970년 6월 10일생

1997년 2월: 청주대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)

1999년 2월: 청주대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1999년 4월~현재: (주)맥슨전자 기술연구소 Cellular/GSM 파트 연구원

<주관심 분야> 이동통신, 무선시스템

김남수(Nam-Soo Kim)

정회원

1957년 10월 16일생

1981년 2월: 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 2월: 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 3월: 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1986년 7월~1994년 2월: 한국전자통신연구소 무선기술 연구실 선임연구원, 실장역임

1991년 1월~10월: BNR(Bell Northern Research) 방문연구원

1994년 3월~현재: 청주대학교 첨단공학부 교수

<주관심 분야> 이동통신, 무선시스템

(사진) 한국통신학회 논문지 Vol. 24, No. 2B, Feb. 1999. 참조