

# 다수의 나카가미(Nakagami) 페이딩을 받은 AMPS 간섭파가 불완전 전력제어된 DS/CDMA 시스템의 용량에 미치는 영향

正會員 金 南 秀\*

## The Effect of the Multiple Nakagami Faded AMPS Interferers on the Capacity of the Imperfect Power Controlled DS/CDMA System

Nam-Soo Kim\* *Regular Member*

※이 논문은 '96~'98학년도 청주대학교 학술연구조성비(특별과제)에 의하여 연구되었음

### 요 약

본 논문에서는 나카가미(Nakagami) 페이딩을 받은 다수의 AMPS 간섭파가 불완전 전력제어된 DS/CDMA 시스템의 용량에 미치는 영향을 해석적인 방법으로 유도하였다. 실제 운용중인 DS/CDMA 방식은 이론과는 달리 완전한 전력제어가 되지 않기 때문에 불완전 전력제어, Nakagami 페이딩지수 및 처리이득, AMPS 간섭파의 갯수 등을 파라메타로 하여 DS/CDMA 시스템의 용량감소를 해석하였다. 해석한 결과는 불완전 전력제어만 해석한 Prasad의 결과와 비교하였으며, 전력제어가 불완전할수록, 간섭파의 갯수가 증가할수록, 처리이득이 작을수록 DS/CDMA시스템의 용량은 감소하였다.

### ABSTRACT

We analyze the capacity of the imperfect power controlled DS/CDMA system with the Nakagami faded AMPS interferers by means of the analytical approach. Unlike the theoretical assumption, the power control of the DS/CDMA system is not perfect. Therefore in this analysis we consider various parameters which cause the capacity reduction of the DS/CDMA system, the imperfect power control, the Nakagami fading index, the processing gain,

\*청주대학교 정보통신공학과  
論文番號:96210-0718  
接受日字:1996年 7月 18日

and the number of AMPS interferers. The analytical results are compared with the Prasad's results which are considered only the imperfect power control of the DS/CDMA system. It is shown that the DS/CDMA capacity is decreased according to the increase of the deviation of the imperfect power control, to increase the number of the analog interfering users, and to decrease the processing gain.

## I. 서 론

이동통신 가입자의 급증과 함께 애널로그 시스템의 용량 한계는 새로운 디지털 이동통신 방식의 도입에 박차를 가하였다. 새로운 디지털 이동통신 방식으로 북미에서는 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식과 함께 DS/CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access)방식도 표준방식으로 결정되었다[1]. 그리고 DS/CDMA 방식은 PCS(Personal Communication Service)의 다중화 방식으로도 활발히 논의되고 있다.

DS/CDMA 방식의 최대 장점인 가입자 용량에 관한 이론적 분석은 Pursley 및 Turin [2, 3] 의하여 시작된 이래로, 1992년 Holtzman은 가우시안 근사법(Gaussian Approximation)을 적용하여 간단하고 정확한 용량 계산식을 유도하였다[4]. 그러나 DS/CDMA 시스템의 용량을 계산하는데는 기지국과 이동국 사이에 완벽한 전력제어를 전제로하여 기지국에 도달하는 이동국들의 수신전력이 모두 동일하다고 가정하였으나, 실제 실험결과 불안정한 무선채널 때문에 완벽한 전력제어는 불가능한 것으로 보고되고 있다[5-8]. 이러한 이유로 최근에는 DS/CDMA의 용량 감소의 원인중의 하나인 불완전 전력제어에 의한 DS/CDMA 시스템의 용량저하에 관한 연구가 활발히 진행중이다[9, 10]

한편 디지털 시스템은 기존 서비스를 실시하고 있던 애널로그 AMPS(Advanced Mobile Phone Service) 시스템을 점차 대체시켜 나갈 예정이기 때문에 당분간은 애널로그 시스템과 DS/CDMA 시스템이 공존할 것이다. 그러나 이 두 시스템이 공존할때에 상호간의 영향으로 발생하는 시스템 성능저하에 관한 연구는 국내외적으로 매우 미미한 상태인데, 지금까지 발표된 논문들은 DS/CDMA 시스템의 불완전한 전력제어만을 고려하였거나[7, 9] 또는 간섭의 영향을 고려하였다 하더라도, AMPS 시스템의 신호가 무선

채널을 통과하면서 받는 다중파 간섭에 의한 페이딩의 영향을 고려하지 않았다[11, 12].

따라서 본 연구에서는 상기의 연구들에서 이상적이라고 가정하여 고려하지 않은 불완전 전력 제어된 DS/CDMA 신호를 대상으로 하여, 이 DS/CDMA 신호가 다수의 나카가미(Nakagami) 페이딩을 받은 애널로그 신호로부터 간섭을 받는 경우를 outage 확률로 유도하였다. 특히 이 논문에서 나카가미 페이딩을 고려한 이유는 지금껏 나카가미 페이딩이 무선채널에서 일반적인 페이딩의 모델로 알려져 있기 때문에 일반적인 페이딩 환경에서 간섭을 고려하기 위해서이다. 그리고 간섭의 결과를 DS/CDMA 시스템의 용량감소로 나타내었다.

본 논문의 구성은 제2장에서 불완전 전력제어된 DS/CDMA 시스템과 페이딩을 받은 애널로그 시스템의 간섭을 해석적인 방법으로 유도하였으며, 제3장에서는 제2장에서 유도한 결과를 이용하여 각 파라메타 변경시 DS/CDMA 시스템의 용량변화를 계산하였다. 그리고 제4장에서는 결론 및 향후 연구방향에 관하여 서술하였다.

## II. DS/CDMA 시스템과 애널로그 시스템 간의 간섭

셀룰러 시스템에서 기지국과 이동국의 거리는 각각 다르기 때문에, 만일 이동국들이 모두 동일한 전력으로 신호를 송신한다면 가까운 이동국으로부터 수신하는 신호는 크고 먼 이동국으로부터 수신하는 신호는 매우 미약하여 원근문제(Near-far problem)가 발생하게 된다. 매우 DS/CDMA 방식에서의 원근문제는 DS/CDMA 시스템의 용량감소와 직접 관련이 있기 때문에 매우 심각하다. 그러므로 DS/CDMA 시스템에서는 TDMA 및 FDMA(Frequency Division Multiple Access) 보다도 시스템의 전력제어에 매우 많은 비중을 두고 있으며, 대표적으로 개방 루프 전

력제어(Open loop power control) 및 폐쇄루프 전력 제어(Closed loop power control)등의 방법을 사용하고 있다[1]. 무선 채널을 통한 신호전력은 매우 변화가 많기 때문에 IS-95 DS/CDMA 셀룰러 시스템은 역방향 링크(Reverse link) 전력제어 범위가 최소 64dB 이상이다[13].

실제로 무선채널의 특성은 주위 환경의 변화에 따라서 매우 빠르고 다양하게 변화하므로, 상기의 전력 제어 방식으로든 완벽한 전력제어를 한다는 것은 불가능하다. 실제로 전력제어 시스템의 성능은 전력제어 알고리즘, 송수신기의 동작영역(Dynamic range), 이동국의 분포, 페이딩과 전파음영(Shadowing)과 같은 채널상태에 따라 달라진다. 그리고 이런 요소들은 수신전력의 확률밀도함수(Probability density function)에 영향을 미친다.

DS/CDMA 시스템의 가입자 용량을 고려하기 위하여 이동국이 송신하고 기지국이 수신하는 역방향 링크(Reverse link)를 분석하자. 기지국으로부터 전력제어를 받은 이동국이 송신할때, 기지국에 수신된 전력  $P_d$ 에 대한 확률밀도함수는 대수정규분포(log normal distribution)

를 하며 다음 식(1)과 같다[7].

$$f_{P_d}(P_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma P_d} \exp\left[-\frac{(\ln P_d - m_d)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

여기서  $\sigma$ 는 정규분포 함수의 표준편차이다. 만일 전력제어가 완벽하다면  $\sigma$ 는 0 dB가 되지만 실제 수신전력의 표준편차를 측정된 결과는 1내지 2 dB 이다[5, 6]. 그리고  $m_d$ 는 정규분포 함수의 평균값이다. 표준편차  $\sigma$  및 평균값  $m_d$ 는 상용로그값(dB)과 각각 다음과 같은 관계가 있다[14].

$$\begin{aligned} \sigma(dB) &= 4.343 \sigma \\ m(dB) &= 4.343 m_d \end{aligned} \quad (2)$$

한편 동일 셀내에 k개의 DS/CDMA 이동국이 동시에 통화한다면, (k-1)개의 간섭 이동국들은 각각 전력제어를 받으므로 상호독립이고 각각 대수 정규분포를 한다. 그러므로 (k-1)개의 이동국으로부터의 다중액세스 간섭전력  $P_{di}$ 는 각 간섭전력의 합으로 나타낼 수 있다[7].

$$P_{di} = \sum_{i=1}^{k-1} P_{di} \quad (3)$$

여기서  $P_{di}$ 는 i번째 DS/CDMA 이동국의 전력이다. 그리고 각각의 이동국은 기지국으로부터 독립적으로 전력제어를 받고 있으므로 k-1개의 이동국으로부터 수신한 수신전력의 확률밀도함수는 역시 대수정규분포를 갖는데 표준편차가 비교적 작은 4 dB 이내에는 Fenton이 제시한 방법[14]으로 계산할 수 있으며, 상대적으로 큰 4 dB 내지 12 dB 사이의 값을 갖는 경우에는 Schwartz와 Tech의 방법으로 계산한다[15]. 실제 수신전력의 표준편차를 측정된 결과가 4 dB 미만 [5, 6]이므로 Fenton이 계산한 결과를 이용하면, k-1개의 간섭 이동국으로부터 수신된 전력의 확률밀도함수는 역시 대수 정규분포를 갖으며, 표준편차  $\sigma_l(k-1)$  및 평균값  $m_l(k-1)$ 은 각각 다음식과 같이 주어진다 [14, 7].

$$\sigma_l(k-1) = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{k-1} \exp \sigma^2 + \frac{k-2}{k-1}\right)} \quad (4)$$

$$m_l(k-1) = \ln(k-1) + m_d + \frac{\sigma^2}{2} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{k-2}{k-1} + \frac{1}{k-1} e^{\sigma^2}\right) \quad (5)$$

그러므로 식(4)와 식(5)를 식(1)에 대입하면 k-1개의 DS/CDMA 간섭파에 의한 수신전력 밀도함수를 구할 수 있다.

그림1은 표준편차  $\sigma(dB)$ 가 1 dB이고 평균  $m(dB)$ 이 0 dB일때 k 값에 따른 DS/CDMA 수신전력밀도(대수 정규분포함수)를 나타낸 것이다.

한편 에널로그 이동국과 디지털 이동국이 동시에 같은 주파수대를 이용하여 송신하게 되면, 에널로그 이동국은 DS/CDMA 시스템에 간섭을 주게 된다. 그리고 에널로그 시스템은 DS/CDMA 시스템과 같은 전력제어를 받지 않으므로 수신전력의 확률밀도함수가 대수 정규분포를 하지 않는다. 그러므로 에널로그 이동국에서 송신하는 신호는 무선채널에서 페이딩을 받고 DS/CDMA 기지국에 수신되므로 본 논문에서는 기지국에 수신되는 에널로그 신호의 진폭이 이동통신 페이딩 채널의 가장 보편적인 나카가미 페이딩을 받는다고 가정하자. 수신신호의 진폭이 나카가미

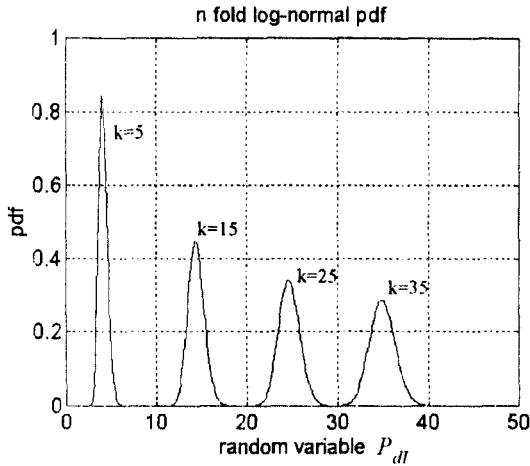


그림 1. DS/CDMA 이동국의 수가 k 개일때 DS/CDMA 수신전력 확률밀도함수( $\sigma=1dB, m=0dB$ )  
Fig. 1 Received power pdf of the DS/CDMA which has k numbers of the DS/CDMA MS( $\sigma=1dB, m=0dB$ )

페이딩 분포를 하면 수신전력  $P_a$ 의 확률밀도함수는 감마분포를 하므로 다음식과 같이 쓸 수 있다[16].

$$f_{P_a}(P_a) = \left(\frac{m}{P_a}\right)^m \frac{P_a^{m-1}}{\Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m}{P_a} P_a\right), P_a > 0 \quad (6)$$

여기서  $m$ 은 페이딩 지수(Fading parameter)로서 0.5 이상의 값을 가지며, 특히  $m=1$ 인 경우는 레일리(Rayleigh)페이딩의 경우와 동일하게 된다. 페이딩 지수가 크면 클수록 페이딩의 영향은 감소하게 되고  $m=\infty$ 인 경우는 페이딩이 없는 경우이다. 그리고  $\Gamma(\cdot)$ 은 감마함수이며  $\bar{P}_a$ 는 애널로그 이동국의 평균 수신 전력이다. DS/CDMA 시스템과 마찬가지로 동일한 평균전력을 가지고 동일한 확률분포를 갖는 L개의 독립적인 애널로그 신호가 존재한다면 수신된 애널로그 간섭신호의 전력  $P_{dI}$ 는 애널로그 이동국 각각의 전력을 합한 다음식과 같다.

$$P_{dI} = \sum_{i=1}^L P_{dI_i} \quad (7)$$

여기서  $P_{dI_i}$ 는 i번째 애널로그 이동국의 전력이다. 그리고 L개의 애널로그 간섭 이동국으로부터 수신된 전력  $P_{dI}$ 의 확률밀도함수는 역시 감마분포를 하며

다음식과 같다[17].

$$f_{P_{dI}}(P_{dI}) = \left(\frac{m}{P_a}\right)^{mL} \frac{P_{dI}^{mL-1}}{\Gamma(mL)} \exp\left(-\frac{m}{P_a} P_{dI}\right), P_{dI} > 0 \quad (8)$$

여기서  $\bar{P}_a$ 는 각 애널로그 이동국의 평균 전력이다.

그림2는 애널로그 이동국의 수가 L개일때 AMPS 수신전력 밀도함수(감마분포함수)를 나타낸 것이다. 이 그림2는 페이딩 지수  $m=1$ , 그리고 애널로그 이동국의 평균전력  $\bar{P}_a$ 이 0.5일때이다.

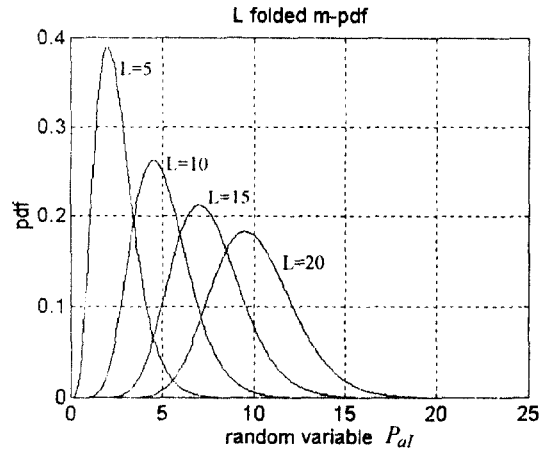


그림 2. 애널로그 이동국의 수가 L 개일때 AMPS 수신전력 확률밀도함수( $m=1, \bar{P}_a=0.5$ )  
Fig. 2 Received power pdf of the AMPS which has L numbers of the analog MS( $m=1, \bar{P}_a=0.5$ )

이제 DS/CDMA 시스템이 애널로그 시스템으로부터 간섭을 받는 경우의 outage 확률  $P_{out}$ 을 유도하자. 여기서 outage 확률은 신호전력과 간섭전력의 비가 기준값(Threshold 또는 Protection ratio)  $q$  보다 작은 확률을 나타내며 성공할 확률  $P_{Suc}$ 과는 다음의 관계가 있다.

$$P_{Suc} = 1 - P_{out} \quad (9)$$

그리고 성공할 확률  $P_{Suc}$ 은 다음식으로 표현할 수 있다[15].

$$P_{Suc} = P\left(\frac{S}{I} > q\right) \quad (10)$$

$$= \int_0^{\infty} f_I(x) \int_{qx}^{\infty} f_S(y) dy dx$$

여기서  $S$ 는 신호전력,  $I$ 는 간섭전력이고  $q$ 는 기준값이다. 그리고  $f_S(\cdot)$ 는 희망파 전력의 확률밀도함수이고,  $f_I(\cdot)$ 는 간섭파 전력의 확률밀도함수이다. 이 논문에서는 DS/CDMA 시스템과 애널로그 시스템을 혼재하여 사용하는 경우 DS/CDMA 시스템의 outage 확률을 계산할 목적이므로 희망파 전력의 확률밀도함수는 식(1)에 나타낸 대수 정규분포를 갖는다. 그리고 간섭파는 두가지인데, 첫째로 DS/CDMA 시스템의  $k-1$ 개의 사용자로부터의 다중역세스 간섭(MAI; Multiple Access Interference)과 둘째로  $L$ 개의 AMPS 이동국으로부터의 애널로그 간섭이다. 즉 간섭파의 전력은 DS/CDMA 시스템의 다중파 간섭과 AMPS 이동국으로부터의 간섭을 합한 값이다. 이때 DS/CDMA 이동국으로부터 수신한 총 수신전력  $P_{dI}$ 와 애널로그 이동국으로부터 수신한 총 수신전력  $P_{aI}$ 는 각각 독립인 랜덤변수이기 때문에  $P_{dI}$ 와  $P_{aI}$ 를 합한 간섭파 전력의 확률밀도함수  $f_I(x)$ 는 DS/CDMA 다중역세스 간섭전력의 확률밀도함수와 AMPS 이동국에 의한 확률밀도함수를 서로 콘볼루션한 값으로 나타낼 수 있다[18]. 간섭파 전력의 확률밀도함수를 수식으로 표현하면,

$$f_I(x) = f_{P_{dI}}(x) \otimes f_{P_{aI}}(x) \quad (11)$$

이며, 여기서  $\otimes$ 는 콘볼루션을 의미한다. 그리고  $f_{P_{dI}}(x)$ 는 앞에서 언급한 바와 같이 식(4)와 식(5)를 식(1)에 대입한 DS/CDMA 다중역세스 간섭전력의 확률밀도함수이며,  $f_{P_{aI}}(x)$ 는 식(8)에 주어진  $L$ 개의 애널로그 이동국으로부터 수신한 전력의 확률밀도함수이다.

따라서 성공할 확률  $P_{Suc}$ 는 식(10)에 식(11)을 대입하여

$$\begin{aligned} P_{Suc} &= P\left(\frac{S}{I} > q\right) \\ &= \int_0^{\infty} f_I(x) \int_{qx}^{\infty} f_S(y) dy dx \\ &= \int_0^{\infty} f_{P_{dI}}(x) \otimes f_{P_{aI}}(x) \int_{qx}^{\infty} f_S(y) dy dx \end{aligned} \quad (12)$$

이다. 이 식(12)의 두번째 적분식은 다음과 같이 계산할 수 있으며,

$$\begin{aligned} \int_{qx}^{\infty} f_S(y) dy &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{qx}^{\infty} \frac{1}{y} \exp\left[-\left(\frac{\ln y}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2\right] dy \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left[\frac{\ln(qx)}{\sqrt{2}\sigma}\right] \end{aligned} \quad (13)$$

여기서  $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-u^2) du \quad (14)$$

이다. 따라서 성공할 확률  $P_{Suc}$ 는

$$\begin{aligned} P_{Suc} &= \int_0^{\infty} f_{P_{dI}}(x) \otimes f_{P_{aI}}(x) \int_{qx}^{\infty} f_S(y) dy dx \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [f_{P_{dI}}(x) \otimes f_{P_{aI}}(x)] \operatorname{erfc}\left[\frac{\ln(qx)}{\sqrt{2}\sigma}\right] dx \end{aligned} \quad (15)$$

이므로 outage 확률은 다음 식(16)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= 1 - P_{Suc} \\ &= 1 - \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [f_{P_{dI}}(x) \otimes f_{P_{aI}}(x)] \operatorname{erfc}\left[\frac{\ln(qx)}{\sqrt{2}\sigma}\right] dx \end{aligned} \quad (16)$$

한편 애널로그 시스템의 각 이동국의 평균전력  $\bar{P}_a$ 와 CDMA 이동국 하나의 평균전력  $\bar{P}_d$ 의 비를 다음과 같이  $R$ 로 나타내자.

$$R = \frac{\bar{P}_d}{\bar{P}_a} \quad (17)$$

여기서 DS/CDMA 1개의 이동국의 평균전력  $\bar{P}_a$ 은

$$\bar{P}_a = \exp\left[m_d + \frac{\sigma^2}{2}\right] \quad (18)$$

이며, 여기서  $m_d$  및  $\sigma$ 는 각각 식(1)에 주어진 평균 및 표준편차이다[17].

### III. DS/CDMS 시스템의 용량변화 계산

그림 3은 애널로그 시스템의 간섭이 존재하지 않고 불완전한 전력제어만 존재할때를 해석한 Prasad의 결과[9]와 비교한 그림인데, Prasad가 가정한 처리이득 (pg; Processing gain) 255에서 정확히 일치하고 있다. 그리고 이 그림의 처리이득 128은 현재 IS-95에서 사

용하고 있는 DS/CDMA 셀룰러 시스템의 처리이득이다. 이 그림의 가로축은 불완전 전력제어 표준편차인  $\sigma$ (dB) 값이며, 세로축은 DS/CDMA 사용자이다. 그림에서 보는 바와 같이 전력제어가 완전하지 못하면 현격한 가입자 용량의 감소를 초래하는 것을 알 수 있다. 물론 처리이득이 크면 가입자 용량은 증가한다.

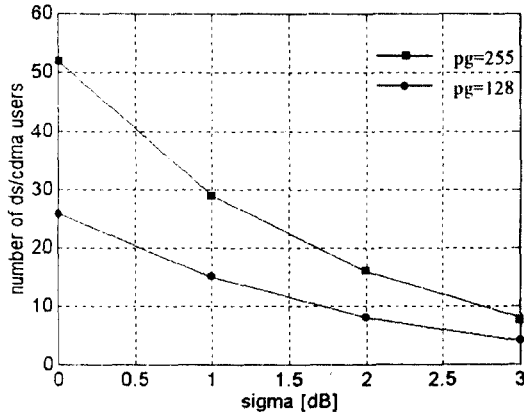


그림 3. 불완전 전력제어하에서 가입자 용량의 감소(pg = 128 및 255)

Fig. 3 The imperfect power controlled DS/CDMA system capacity as a function of the processing gain.(pg = 128 and pg = 255)

그림 4는 애널로그 AMPS 시스템의 간섭이 존재할 경우 불완전 전력제어된 DS/CDMA 시스템의 용량을 나타내었으며, 이때 시뮬레이션에 사용한 파라메타들은 페이딩지수  $m=1$ ,  $R=1.5$ ,  $pg=128$ 이다. 여기서 시뮬레이션 값으로 설정한 R값 1.5는 디지털 이동국보다 애널로그 이동국이 일반적으로 디지털 기지국으로부터 멀리 떨어져 있으며, 디지털 이동국의 수신전력보다 애널로그 수신전력이 작은 경우를 가정하여 설정한 값이다. 이 그림의 가로축은 애널로그 간섭 이동국의 수이며, 세로축은 DS/CDMA 가입자의 수이다. 이 그림으로부터 애널로그 이동국의 수가 15개일때 DS/CDMA 가입자의 수이다. 이 그림으로부터 애널로그 이동국의 수가 15개일때 DS/CDMA 가입자수는 표준편차가 0.5 dB일때 20명에서 11명으로, 그리고 표준편차가 1 dB일때 15명에서 5명으로 각각 45% 및 33% 감소하는 것을 알 수 있다.

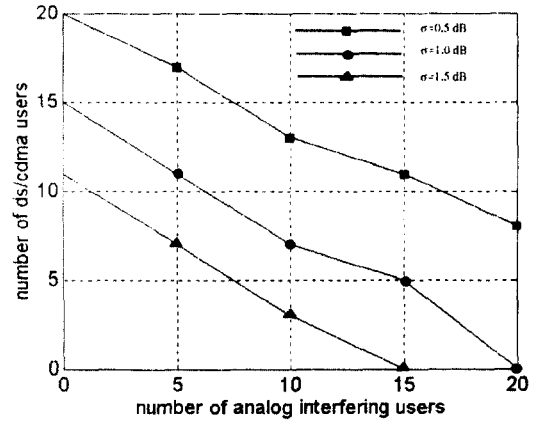


그림 4. 애널로그 간섭이동국의 수와 DS/CDMA 시스템의 가입자 용량( $m=1$ ,  $R=1.5$ ,  $pg=128$ )

Fig. 4 The capacity of the DS/CDMA system as a function of the number of analog interfering MS.( $m=1$ ,  $R=1.5$ ,  $pg=128$ )

그림 5는 R값의 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 용량감소를 나타내고 있는데,  $\sigma=1$  dB,  $pg=128$ ,  $m=1$  일때의 값이다. 애널로그 간섭이 없을때에는 DS/CDMA 시스템의 용량이 15명이었는데, 애널로그 이동국의 수가 15개일때 DS/CDMA 가입자수는 R이 2.0에서 1.5로 감소함에 따라 각각 7명과 5명으로 53% 및 67% 감소하는 것을 알 수 있다.

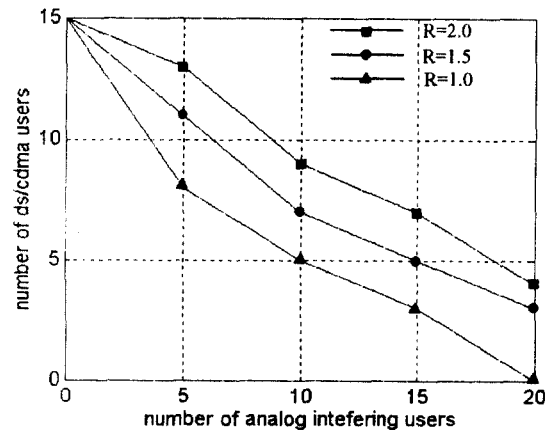


그림 5. R값의 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 가입자 용량( $\sigma=1$  dB,  $pg=128$ ,  $m=1$ )

Fig. 5 The capacity of the DS/CDMA system as a function of the ratio, R.( $\sigma=1$  dB,  $pg=128$ ,  $m=1$ )

그림 6은 페이딩지수의 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 용량변화를 나타내었는데 여기서  $R=1$ ,  $pg=128$ ,  $\sigma=1$  dB를 가정하였다.

이 그림 6은 페이딩의 정도에 따른 가입자 용량의 변화를 나타내었지만, 페이딩지수가 1 이상이면 페이딩 지수에 따른 가입자용량의 변화는 크지 않음을 알 수 있다.

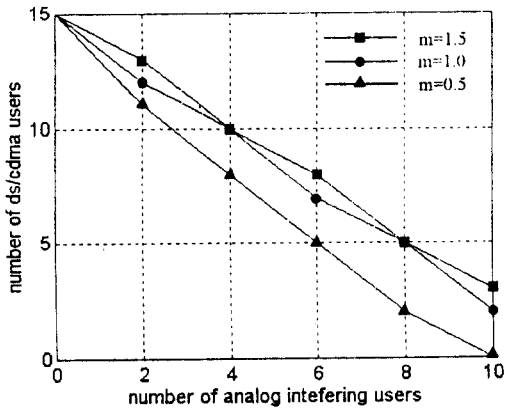


그림 6. 페이딩지수의 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 가입자 용량

( $R=1$ ,  $pg=128$ ,  $\sigma=1$  dB)

Fig. 6 The capacity of the DS/CDMA system as a function of the fading index,  $\sigma$ .

( $R=1$ ,  $pg=128$ ,  $\sigma=1$  dB)

표 1은 각 파라메타 변경시 DS/CDMA 시스템의 가입자 용량을 계산한 결과이다. 여기서 처리 이득은  $128$ ,  $\sigma=1$  dB로 하였다.

표 1. 파라메타의 변화에 따른 DS/CDMA 시스템의 가입자용량( $pg=128$ ,  $\sigma=1$  dB)

Table 1. The capacity of the DS/CDMA system as a function of the fading index various parameters. ( $pg=128$ ,  $\sigma=1$  dB)

페이징지수 m	R	AMPS 간섭수 L	DS/CDMA 가입자수 k
0.5	1	0	15
		2	11
		4	8
		6	5
		8	2
		10	0

1.0	1	0	15
		2	12
		4	10
		6	7
		8	5
		10	2
1.0	1.5	0	15
		5	11
		10	7
		15	5
		20	3
		0	15
1.0	2.0	0	15
		5	11
		10	9
		15	7
		20	4
		1.5	1
2	13		
4	10		
6	8		
8	5		
10	3		

#### IV. 결 론

DS/CDMA 시스템을 실제 운용할때 발생하는 현 상으로는 DS/CDMA 시스템의 불완전 전력제어와 그리고 애널로그 시스템으로 부터의 간섭이었다. 이 두 문제는 DS/CDMA 시스템의 성능 저하, 동일한 개념으로 가입자 용량의 변화와 직접 연관이었다. 그러나 이 두가지의 문제를 동시에 고려한 연구는 몇 편 있지만, 어느 논문도 애널로그 시스템이 실제 무선채널을 통과하면서 받는 페이딩의 영향은 고려하지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는 나카가미(Nakagami) 페이딩을 받은 다수의 AMPS 간섭파가 불완전 전력제어된 DS/CDMA 시스템의 용량에 미치는 영향을 해석적인 방법으로 유도하였다.

그리고 유도한 결과를 이용하여 불완전 전력제어, Nakagami 페이딩지수 및 처리이득, AMPS 간섭파의 갯수등을 파라메타로 하여 DS/CDMA 시스템의 용량감소를 해석하였다. 분석결과 페이딩지수  $m=1$ ,  $R=1.5$ ,  $pg=128$ , 그리고 애널로그 이동국의 수가 15개

일때 DS/CDMA 가입자수는 표준편차가 0.5 dB일때 20명에서 11명으로, 그리고 표준편차가 1 dB일때 15명에서 5명으로 각각 45% 및 33% 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고  $\sigma=1$  dB,  $p_g=128$ ,  $m=1$ 이며, 애널로그 간섭이 없을때에는 DS/CDMA 시스템의 용량이 15명이었는데, 애널로그 이동국의 수가 15개일때 DS/CDMA 가입자수는 R이 2.0에서 1.5로 감소함에 따라 각각 7명과 5명으로 53% 및 67% 감소하였다. 페이딩의 정도에 따른 가입자 용량의 변화를 분석한 결과, 페이딩지수가 1 이상이면 페이딩 지수에따른 가입자용량의 변화는 크지 않음을 알 수 있다.

이 연구결과는 DS/CDMA 시스템 설치시 페이딩을 받은 애널로그 시스템으로부터의 간섭 및 불완전 전력제어에 의한 가입자 용량계산에 이론적 근거로 사용할 수 있다. 향후에는 셀 패턴과 실제 애널로그 시스템의 주파수 배치등을 고려하여 좀더 현실에 근접한 연구를 진행할 계획이다.

### 참 고 문 헌

1. EIA/TIA, IS-95 Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system, Feb. 1993.
2. M. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread-spectrum multiple-access communication-Part I: System analysis," IEEE Trans. on Commun., vol.com-25, no.8, pp.795-803, Aug. 1977.
3. G. Turin, "The effect of multipath and fading on the performance of direct-sequence CDMA systems," IEEE J. Selected Areas Commun., vol.sac-2, no.4, pp.597-603, July 1984.
4. J. Holtzman, "A simple, accurate method to calculate spread-spectrum multiple-access error probabilities," IEEE Trans. on Commun., vol.40, no.3, pp. 461-464, March 1992.
5. A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," IEEE J. Selected Areas Commun., vol.11, pp.892-899, Aug. 1993.
6. A. J. Viterbi and A. M. Viterbi, and E. Zehavi, "Performance of power controlled wideband terres-

- trial digital communications," IEEE Trans. Commun., vol.41, pp.559-569, Apr. 1993.
7. R. Prasad, M. G. Jansen, and A. Kegel, "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.
8. R. Prasad, "Performance analysis of mobile packet radio networks in real channels with inhibit multiple access," IEE Proc. I, pp.458-464, Oct. 1991.
9. R. Prasad, et al, "Effect of imperfect power control on cellular code division multiple access system," IEE, Electronic Letters, vol.28, no.9, pp.848-849, April 1992.
10. M. Jansen, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," IEEE Trans. on Veh. Tech., vol.44, no.1, pp. 67-75, Feb. 1995.
11. K. Kim, "CDMA Cellular Engineering Issues," IEEE Trans. on Veh. Tech. vol.42, no.3, pp. 345-350, Aug. 1993.
12. Hossam H. Hmimy, Someshwar C. Gupta, "Overlay of cellular CDMA on AMPS forward and reverse link analysis," IEEE Trans. on Veh. Tech., vol.45, no.1, pp.51-56, Feb. 1996.
13. J. Gibsson, The mobil communications handbook, CRC press, ch.23, 1996.
14. L. F. Fenton, "The sum of log-normal probability distributions in scatter transmission systems," IRE Trans. on Commun. Systems, vol.C5-8, pp.57-67, March 1960.
15. J. Linnartz, Narrowband land-mobile radio networks, Artech House. Inc., 1993.
16. A. Wojnar, "Unknown bounds on performance in Nakagami channels," IEEE Trans. Commun., vol. com-34, pp.22-24, Jan. 1986.
17. W. Fellwe, An introduction to probability theory and its applications, vol.2, Newyork : Wiley, 1966.
18. P. Z. Peebles, Probability, random variables, and random signal principles, 3rd ed., McGraw-Hill



Inc., 1993.

19. K. Gilhousen et al., "On the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 40, no.2, pp.303-312, May 1991.



金 南 秀(Nam-Soo Kim)평생회원

1957년 10월 16일생

1981년 2월:광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 2월:연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 3월:연세대학교 대학원 전

자공학과 졸업(공학박사)

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

1994년 3월~현재:청주대학교 정보통신공학과 교수

※주관심분야:디지털 이동통신, 무선시스템