

# 전파음영과 페이딩이 존재하는 채널에서 최대비 합성 안테나 다이버시티를 채택한 전력제어된 DS-CDMA 시스템의 얼랑 용량

정회원 김 남 수\*

## Erlang Capacity of a Power Controlled DS-CDMA System with MRC Antenna Diversity in Shadowing and Fading

Nam-Soo Kim\* *Regular Member*

### 요 약

전파음영(Shadowing)과 나카가미 페이딩이 존재하는 채널에서 최대비 합성 안테나 다이버시티를 채택한 전력제어된 DS-CDMA 시스템의 역방향 링크 얼랑 용량을 계산하였다. 이전에 발표된 Viterbi의 논문을 기반으로 하여, 나카가미 페이딩지수와 최대비 합성 다이버시티 안테나의 수 등을 함수로 하는 확장된 차단 확률(Blocking probability)식을 유도하였다. 계산결과 나카가미 페이딩의 영향은 무시할 수 없으며, 안테나 다이버시티에 의하여 그 영향이 경감됨을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

Reverse link Erlang capacity of a power controlled DS-CDMA cellular system is investigated in shadowing and Nakagami fading with MRC antenna diversity. A extended blocking probability expression for the Erlang capacity calculation is derived including the Nakagami fading index and the number of MRC diversity branches to the previous Viterbi's work. The results obtained show the effect of Nakagami fading to the Erlang capacity can not be ignored and can be mitigated by MRC antenna diversity.

### I. 서 론

DS-CDMA(Direct sequence code division multiple access) 통신방식은 현재 디지털 셀룰러, PCS(Personal communication service) 시스템등에 사용되고 있으며, 곧 이어 서비스를 시작할 WLL(wireless local loop) 및 2000년대의 IMT-2000시스템등에도 채택될 예정이다[1-3]. 다른 방식에 비해서 이렇게 많은 주목을 받는 이유는 다른 다중 액세스(Multiple access) 방식에 비해서 시스템의 용량을 획기적으로 증가할 수 있고, 간섭

에 강인한 점 등 많은 장점을 가지고 있기 때문이다.

최근 Viterbi는 DS-CDMA 셀룰러 시스템의 용량은 시스템 용량 뿐만 아니라, 트래픽 최번시간(Traffic busy hour)에 시스템이 서비스 할 수 있는 역 방향 링크(Reverse link)의 얼랑(Erlang) 용량 역시 중요하다고 강조하고 DS-CDMA 시스템의 얼랑 용량을 유도하였다[4]. Viterbi는 기지국의 수신 전력을 측정된 통계값을 대수 정규분포(Log-normal pdf)로 가정하여 DS-CDMA 셀룰러 시스템의 얼랑 용량을 유도하였다. 그러나 그 자신이 논문에서 밝히고 있는 바와 같이 완벽한 전력

\* 청주대학교 정보통신과(nskim@alpha94.chongju.ac.kr) 정회원

논문번호: 98187-0427, 접수일자: 1998년 4월 27일

\*이 논문은 '98-2000년도 청주대학교 학술연구조성비(특별과제)에 의하여 연구되었음.

제어가 되지 않으면, 수신전력의 측정 값은 단순히 대수정규 분포로 가정할 수 없다고 하였다.

곧 이어서 완벽한 전력제어가 되지 않았을 때 기지국에서 수신한 전력은 전파음영(Shadowing)과 다중경로 페이딩(Multipath fading)의 특징이 그대로 존재한다는 논문이 발표되었고[5], 이것을 근거로 하여 '96년에 Q.Shen과 W.Krzymien은 불완전 전력제어로 인하여 전파음영과 페이딩이 존재할 때에 IS-95 셀룰러 시스템의 일량 용량을 발표한 바 있다[6]. 그러나 이 논문은 페이딩 모델로 Rayleigh 페이딩을 가정하였고, 직접 적용하려면 MIP(Multipath Intensity Profile) 파라메타값을 가정해야 하는 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 전파음영만을 고려한 Viterbi의 결과를 확장하여 복합 대수정규-나카가미 페이딩을 받은 DS-CDMA 시스템의 일량 용량을 계산하였다. 페이딩 모델로는 Rayleigh 페이딩보다 더욱 일반적인 페이딩 모델로 알려져 있는 나카가미(Nakagami) 페이딩을 가정하였고[7], 전파음영은 대수 정규 분포를 가정하여 전파음영과 페이딩이 동시에 존재할 때의 확장된 차단 확률(Blocking probability)을 유도하였고, 유도한 차단 확률을 근거로 DS-CDMA 셀룰러 시스템의 일량 용량을 계산하였다. 그리고 이러한 페이딩의 영향을 감소시키기 위한 방법으로 최대비 합성 안테나 공간 다이버시티(MRC antenna diversity)를 적용하였을 때의 일량 용량의 변화를 계산하였다.

그러므로 이 논문의 기여는 전파음영과 페이딩이 동시에 존재할 때의 확장된 차단확률을 유도하고, 아울러 최대비 합성 다이버시티의 영향을 고려하였을 때의 성능 개선을 해석적으로 유도한 점이다.

본 논문의 구성은 제2장에서 채널 모델 및 최대비 합성 다이버시티를 서술하였고, 제3장에서는 제2장에서 서술한 채널 모델하에서 불완전 전력제어된 DS-CDMA 시스템의 확장된 차단 확률을 유도하였고, 차단 확률과 일량 용량에 관하여 서술하였다. 제4장에서는 계산결과와 검토를 하였고, 마지막으로 제5장에서 결론을 맺었다.

## II. 채널 모델 및 최대비 합성 다이버시티

### 2.1 채널 모델

DS-CDMA시스템에서는 원근문제(near-far problem)로 발생되는 시스템의 용량을 최대로 하기 위하여 기지국으로부터 가까운 거리에 위치한 이동국은 송신전력을 적게 하고, 기지국으로부터 멀리 떨어진 이동국은 송신전력을 높게 함으로서 기지국에 도달할 때에

는 모두 동일한 전력을 수신할 수 있도록 전력제어를 한다. 현재 DS-CDMA 셀룰러 시스템에 사용되고 있는 전력제어 기법은 개방 루프 전력제어(Open loop power control)와 폐 루프 전력제어(Closed loop power control)를 사용하고 있으며, 개방 루프 전력제어는 수신한 신호 강도를 기준으로 개략적인 전력제어를, 폐 루프 전력제어는 1.25 msec마다 전력제어 비트(power control bit)에 의한 전력제어를 함으로서 보다 미세한 전력제어를 담당하고 있다. 전체 전력제어 범위는 +/- 32 dB이다[2,8].

그러나 실제 측정된 결과에 의하면 기지국에서 수신한 전력은 서론에서 언급한 바와 같이 전파음영에 의한 대수정규 분포와 다중경로 페이딩에 의한 영향이 함께 포함되어 있다. 그러므로 이 논문에서는 다중경로 페이딩으로 가장 일반적으로 알려진 나카가미 페이딩을 고려하자. 수신한 신호의 포락선(Envelope)이 나카가미 페이딩 분포를 하면 수신전력은 감마분포(Gamma pdf)를 하며 다음과 같이 쓸 수 있다[7,9]:

$$p(s) = \left(\frac{m}{s}\right)^m \frac{s^{m-1} \exp(-ms/\bar{s})}{\Gamma(m)} \quad (1)$$

여기서  $m$ 은 나카가미 페이딩지수로서 0.5부터 무한대의 값을 갖는다. 그리고  $\bar{s}$ 는 평균 수신전력(local mean power)이며,  $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수이다.

그리고 전파음영과 페이딩이 존재하고 있을 때의 수신전력은 나카가미 페이딩만 존재하는 식(1) 대신에 다음과 같은 복합 대수정규-감마분포로 나타낼 수 있다[10].

$$p(s) = \int_0^\infty \left(\frac{m}{s}\right)^m \frac{s^{m-1} \exp(-ms/\bar{s})}{\Gamma(m)} \frac{K}{\sqrt{2\pi} \sigma s} \exp\left[-\frac{K \ln \bar{s} - \bar{\mu}}{2\sigma^2}\right] d\bar{s} \quad (2)$$

여기서  $K$ 는  $10/\ln 10$ 이며,  $\bar{\mu}$ 는 수신전력의 장기간 평균(long term average, area mean power)으로서 dB 값이다. 그리고  $\bar{\sigma}$ 는 역시 dB 값으로 장기간 평균의 표준편차이다. 식(2)의 복합 대수정규-감마분포는 또 다른 대수정규 분포모델로 근사할 수 있는데 이때의 평균,  $\tilde{\mu}$ , 및 분산,  $\tilde{\sigma}^2$ ,은 다음과 같이 쓸 수 있다[11].

$$\begin{aligned} \tilde{\mu} &= K[\Psi(m) - \ln(m)] + \bar{\mu}, \\ \tilde{\sigma}^2 &= K^2 s_1(2, m) + \bar{\sigma}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $\Psi(\cdot)$ 는 Euler의 psi 함수이고,

$$\Psi(m) = -0.5772 + \sum_{k=1}^{m-1} \frac{1}{k} \quad (4)$$

이며,  $s_1(\cdot, \cdot)$ 은 일반화된 Riemann의 zeta 함수이다.

$$s_1(2, m) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(m+k)^2} \quad (5)$$

식(3)은  $m=1$ 인 경우에는  $\bar{\sigma} > 6$  dB 이상이고,  $m$ 이 2 이상인 경우에는  $\bar{\sigma}$  값에 무관하게 사용할 수 있는 제약이 있다. 그러므로  $m=1$ 인 Rayleigh 분포의 경우  $\bar{\sigma}$  값이 6 dB이하인 경우에는 이 근사식을 적용할 수가 없으므로, 이때에는 G. Hess가 유도한 값을 적용할 수 있다[12].

$$\tilde{\sigma}^2 = \bar{\sigma}^2 + (5.57)^2 \quad (6)$$

### 2.2 최대비 합성 다이버시티

다중파 페이딩의 영향에 의한 시스템의 성능저하를 개선할 수 있는 방법으로 안테나 다이버시티 방법이 현실적으로 많이 사용되고 있다. 그 중에서도 최대비 합성 다이버시티는 다이버시티 방식 중 가장 성능이 우수하고, 선택 다이버시티는 최대비 합성 다이버시티 보다는 성능이 우수하지는 못하지만 구성상 간편하다는 이점이 있다.

다음 그림 1은 최대비 합성 다이버시티의 구조를 나타내고 있는데, 최대비 합성 다이버시티는 L개의 안테나 가지로 입력된 신호를 각각 동위상으로 복조한 후, 신호의 진폭에 비례한 값을 곱해 준 후 각 가지의 출력을 합성하게 된다.

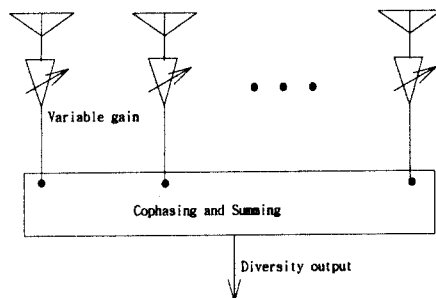


그림 1. 최대비 합성 다이버시티의 구조  
Fig. 1 Block diagram of MRC diversity

이때 각 안테나의 가지에 입력되는 수신신호의 진폭이 나카가미 분포를 갖고 상호 독립이면, 최대비 합성 다이버시티의 출력 전력의 확률 밀도 함수  $p(s)$ 는 각 가지의 확률 밀도함수를 서로 곱분류하여 구할 수 있다[13].

$$p(s) = p(s_1) * p(s_2) * \dots * p(s_L) \quad (7)$$

여기서  $p(s_n)$ 은  $n$ 번째 안테나에 수신되는 전력의 확률 밀도함수이며,  $n=1 \dots L$ 이다. 그리고 \*는 곱분류를 의미한다. 이 식(7)은 다음과 같은 감마 분포를 갖게 된다[9,14]:

$$p(s) = \left(\frac{m_i}{s_i}\right)^{m_i} \frac{s^{-m_i-1}}{\Gamma(m_i)} \exp\left(-\frac{m_i}{s_i} s\right) \quad (8)$$

여기서  $m_i = \sum_{l=0}^{L-1} m_l$ 이고,  $\bar{s}_i = \sum_{l=0}^{L-1} \bar{s}_l$ 이다. 여기서  $m_l$  및  $\bar{s}_l$ 는 각 가지의 페이딩 지수 및 평균전력이다. 그러므로 안테나의 수가 L개인 최대비 합성 다이버시티를 채택하였을 때의 수신 신호 세기의 평균 및 분산은 식(3)에  $m$  대신에  $m_i$ 를 대입하여 얻을 수 있다.

### III. 차단 확률과 열량 용량

이 장에서는 본 논문의 연속성과 독자들의 이해를 돕기 위하여, Viterbi가 수신전력을 정규 대수분포로 가정하여 차단 확률을 유도한 과정을 식(9)-(11)까지 간단히 요약하여 인용하고, 이 수식을 기본으로 하여 본 논문에서 가정한 채널환경 하에서의 확장된 차단 확률을 유도하고자 한다.

DS-CDMA 셀룰러 시스템에서 트래픽 최번시간에 호를 발생하면 시스템으로부터 호를 연결하지 못하는 상황이 발생하는데, 이는 전체 간섭 전력이 미리 정해진 시스템의 열잡음(Thermal noise)을 초과할 때 호의 차단(Blocking)이 발생된다. 그리고 이때의 호 처리 용량을 열량으로 나타내고, 열량 용량은 차단율이 1%가 될 때로 정의한다[4]. 열량 분석은 M/M/S/S queue 모델을 주로 가정하는데, 첫번째 M은 1초에  $\lambda$ 개의 호(calls/s)가 포아송 분포를 갖고 발생하며 (Poisson arrival rate); 두번째 M은 초당 평균  $1/\mu$  (s/call)의 호를 지수 함수적으로 처리하며, 첫번째 S는 서비스 채널의 수, 그리고 두 번째 S는 차단이 일어나기 전에 호를 연결할 수 있는 최대 가입자 수이다[15].

Z를 다음과 같이 정의할 때,

$$Z = \sum_{i=1}^k \nu_i \epsilon \leq \frac{W}{R} (1 - \eta) \quad (9)$$

여기서  $\epsilon = E_b/I_0$ .  $E_b$ 는 비트 에너지이며,  $I_0$ 는 최대 허용 간섭 잡음이다. 그리고  $R$ 은 데이터 속도,  $W$ 는 송신 점유대역폭이다.  $k$ 는 셀 또는 섹터당 가입자 수로서 평균이  $\lambda/\mu$ 인 포아송 분포를 갖고,  $\nu$ 는 통화여부를 나타내는 파라메타로  $\rho$ 의 통화 확율을 갖는다. 한편  $\eta$ 는 열잡음  $N_0$ 과 최대 허용 간섭잡음  $I_0$ 의 비이다.

이러한 가정으로 Viterbi가 유도한 차단 확율은 다음과 같다[4].

$$P_{\text{blocking}} = Q\left[\frac{(W/R)(1-\eta) - E(z)}{\sqrt{\text{Var}z}}\right] \quad (10)$$

여기서  $W/R$ 은 처리 이득(PG; Processing gain)이다. 그리고 인접 셀로부터의 간섭까지 고려한 Z의 평균과 분산은 각각

$$\begin{aligned} E(z) &= (\lambda/\mu)\rho(1+f) \exp[(\beta\bar{\sigma})^2/2] \exp(\beta\bar{\mu}) \\ \text{Var}(z) &= (\lambda/\mu)\rho(1+f) \exp[2(\beta\bar{\sigma})^2] \exp(2\beta\bar{\mu}) \end{aligned} \quad (11)$$

이며, 여기서 각 파라메타는 [4,16]에 정의되어 있다. 이 식은 수신된 신호 전력이 대수정규 분포를 가정하고 유도한 수식이므로, 본 논문에서 가정한 대수정규-나카가미 페이딩 채널을 고려하면 전파음영과 페이딩이 존재할 때의 새로운 평균값과 새로운 분산값을 사용해야 한다. 그러므로 식(11)의  $\bar{\mu}$  및  $\bar{\sigma}$  대신에  $m=1$ 이고  $\mu$ 가 6 dB이상인 경우 및  $m$ 이 2 이상인 경우에는 식(3)의  $\tilde{\mu}$  및  $\tilde{\sigma}$ 를 대입하고,  $m=1$ 이고  $\sigma$ 가 6 dB 이하 인 경우에는 식(3)의  $\tilde{\mu}$ 와 식(6)에서  $\tilde{\sigma}$ 를 대입하면 Z의 평균과 분산은 각각 다음과 같이 쓸 수 있다. (이때의  $\tilde{\mu}$  및  $\tilde{\sigma}$ 는 대수정규-나카가미 페이딩이 고려된 값이다.)

$$\begin{aligned} E(z) &= (\lambda/\mu)\rho(1+f) \exp[(\beta\tilde{\sigma})^2/2] \exp(\beta\tilde{\mu}) \\ \text{Var}(z) &= (\lambda/\mu)\rho(1+f) \exp[2(\beta\tilde{\sigma})^2] \exp(2\beta\tilde{\mu}) \end{aligned} \quad (12)$$

이 식(12)를 식(10)에 대입하면 복합 대수정규-나카가미 페이딩 하에서 확장된 차단 확율을 구할 수 있다. 그리고 열잡음 용량은 앞에서 언급한 바와 같이 차단율이

1% 되는  $\lambda/\mu$  값(열잡음/섹터 또는 셀)으로 나타낸다. 즉,

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{(1-\eta)(W/R)F(B, \tilde{\sigma})}{\rho(1+f)(E_b/I_0)} \quad (13)$$

이고, 여기서

$$\begin{aligned} F(B, \tilde{\sigma}) &= \exp[-(\beta\tilde{\sigma})^2/2] \{1 + (B/2) \exp[3(\beta\tilde{\sigma})^2/2]\} \\ &\cdot (1 - \sqrt{1 + 4 \exp[-3(\beta\tilde{\sigma})^2/2]}/B) \end{aligned} \quad (14)$$

이며,  $B$ 는 참고문헌 [4]에 정의되어 있다.

#### IV. 계산 결과 및 검토

그림 2는 안테나 다이버시티를 적용하지 않은 DS-CDMA 시스템에서, 나카가미 페이딩 지수  $m$ 이 변화할 때 평균 차단 확율과 열잡음 용량을 계산한 결과이다. 이 계산에 적용한 각 파라메타 값들은 Viterbi의 결과와 비교하기 위해서 동일한 값을 가정하였는데, 각 값들은  $\bar{\mu} = 7\text{dB}$ ,  $\bar{\sigma} = 2.5\text{dB}$ ,  $f = 0.55$ ,  $\eta = 0.1$ ,  $\rho = 0.4$ 이다. 그리고  $\epsilon = 7\text{dB}$ , 처리이득은 128로 가정하였다. 이 그림으로부터 페이딩 지수  $m = 100$ 인 다중경로 페이딩이 거의 존재하지 않을 때에는 대수정규 분포만 가정한 Viterbi의 결과와 동일한 열잡음 용량을 얻었으나, 다중경로 페이딩이 존재할 때에는 페이딩이 심해질 수록( $m$ 값이 작아질 수록) 평균 차단 확율은 점차 증가하여  $m = 1$ 인 Rayleigh 페이딩에서는 열잡음 용량이 32.9%로 감소하였다. 그러므로 전력제어에 의하여 빠른 페이딩을 제어하지 못하면 차단 확률이 증가하고, 결과적으로 열잡음 용량이 급격히 감소함을 알 수 있다.

그림 3은 최대비 합성 다이버시티를 적용한 DS-CDMA 시스템에서 전력제어 오차가 1 dB 및 2.5 dB 일 때 안테나 개수에 따른 평균 차단 확율을 나타낸 것이다. 이 그림 3으로부터 전력제어 오차가 증가하면 할 수록 차단 확률도 증가하며, 안테나의 개수가 증가할 수록 차단 확율은 감소함을 알 수 있다. 그러나 일반적인 안테나 다이버시티의 특성과 마찬가지로 안테나의 개수의 증가에 따른 성능개선 효과는 점차 둔화되고 있음을 볼 수 있다.

안테나의 개수 및 나카가미 페이딩 지수에 따른 열잡음 용량의 변화를 표 1에 정리하였다. 표 1은 그림 2에서 사용한 시스템 파라메타에 최대비 합성 다이버시티 안테나 수의 변화에 따른 열잡음용량을 정리한 것이다. 이 표로부터 최대비 합성 다이버시티를 사용하면,

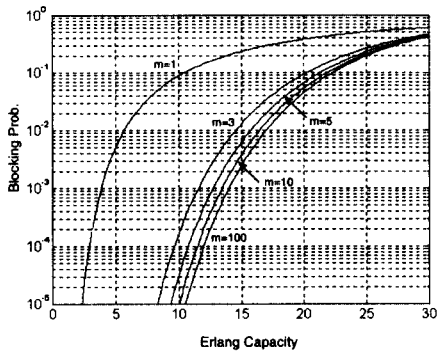


그림 2. 나카가미 페이딩 지수에 따른 평균 차단 확률 ( $\bar{\mu} = 7dB, \bar{\sigma} = 2.5dB, f = 0.55, \eta = 0.1, \rho = 0.4, \epsilon = 7dB, PG = 128, \text{ no Ant. diversity}$ )

Fig. 2 Average blocking probability as a function of fading index, ( $\bar{\mu} = 7dB, \bar{\sigma} = 2.5dB, f = 0.55, \eta = 0.1, \rho = 0.4, \epsilon = 7dB, PG = 128, \text{ no Ant. diversity}$ )

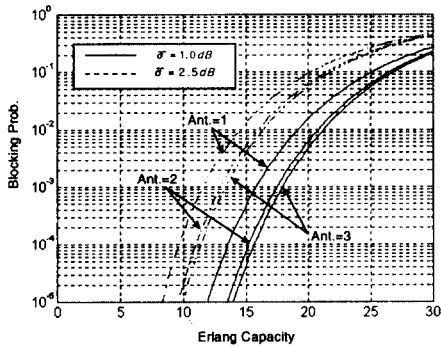


그림 3. 다이버시티 안테나의 수 및 전력제어 오차에 따른 평균 차단확률 ( $\bar{\mu} = 7dB, f = 0.55, \eta = 0.1, \rho = 0.4, \epsilon = 7dB, PG = 128, m = 3$ )

Fig. 3 Average blocking probability as a function of MRC antenna diversity ( $\bar{\mu} = 7dB, f = 0.55, \eta = 0.1, \rho = 0.4, \epsilon = 7dB, PG = 128, m = 3$ )

표 1. 대수정규-나카가미 페이딩하에서 일량 용량 ( $\bar{\mu} = 7dB, \bar{\sigma} = 2.5dB, f = 0.55, \eta = 0.1, \rho = 0.4, \epsilon = 7dB, PG = 128$ )

Table 1. Erlang capacity in Lognormal-Nakagami fading ( $\bar{\mu} = 7dB, \bar{\sigma} = 2.5dB, f = 0.55, \eta = 0.1, \rho = 0.4, \epsilon = 7dB, PG = 128$ )

다이버시티 안테나 수	나카가미 페이딩 지수, $m$			
	$m = 3$	$m = 5$	$m = 10$	$m = 100$
1	14.5	15.8	16.5	17.0
2	16.0	16.4	16.7	17.0
3	16.6	16.6	16.8	17.0

페이딩 지수  $m = 3$ 인 경우 안테나 다이버시티를 적용하지 않은 일량 용량에 비하여 안테나 2개를 사용하면 110.3%, 안테나 3개를 사용하면 114.5%로 일량 용량이 증가되는 결과를 얻었다. 즉, 이 결과는 최대비 합성 다이버시티에 의하여 다중경로 페이딩의 영향을 경감시켰기 때문이다.

표 1에서 알 수 있는 바와 같이, 페이딩 지수가 감소할 수록 다중경로 페이딩은 심해지고 따라서 안테나 다이버시티의 효과는 커지며, 반대로 페이딩 지수가 증가할 수록 다중경로 페이딩이 감소하여 안테나 다이버시티의 효과는 감소하고 있다. 그리고 이미 예측하는 바와 같이 페이딩이 존재하지 않을 때에는 다중경로 페이딩을 개선하기 위한 마이크로 다이버시티는 효과가 없음을 나타내고 있다.

### V. 결론

이 논문에서는 정규대수 분포만 고려한 Viterbi의 이론을 확장하여 불완전 전력제어시 나타나는 다중경로 페이딩까지 고려한 확장된 차단 확률을 유도하였다. 그리고, 유도한 차단 확률이 1%가 될 때 DS-CDMA 시스템의 역방향 링크의 일량 용량을 구하였다. 특히 다중경로 페이딩의 영향을 극복하기 위하여 최대비 합성 다이버시티를 채택한 경우, 안테나의 개수가 일량 용량증가에 미치는 영향을 해석적인 방법에 의하여 유도하였다.

먼저 다이버시티를 채택하지 않은 경우, 나카가미 페이딩 지수  $m = 1$ 인 Rayleigh 페이딩의 경우, 페이딩이 존재하지 않은 경우에 비하여 일량 용량은 32.9%로 감소하였다. 그리고 전력제어 오차가 증가하면 할수록 차단 확률도 증가하며, 안테나의 개수가 증가할수록 차단 확률은 감소함을 알 수 있었다.

또한 그림 2의 파라메타 조건에서 최대비 합성 다이버시티를 사용하면,  $m = 3$ 인 경우 안테나 다이버시티를 사용하지 않을 때에 비하여 안테나 2개를 사용하면 110.3%, 안테나 3개를 사용하면 114.5%로 일량 용량이 증가되는 결과를 얻었다. 이는 다이버시티가 페이딩의 영향을 감소시킴을 의미한다.

결국, DS-CDMA 시스템에서 수신신호에 남아 있는 다중파 페이딩의 영향은 무시할 수 없으므로, 이 영향을 감소시키기 위하여 빠른 페루프 전력제어가 필요하며 보완적으로 안테나 다이버시티를 사용하면 역방향 링크의 일량 용량을 증가시킬 수 있다는 결론을 얻었다.

참 고 문 헌

1. R. Prasad, CDMA for wireless personal communications, Artech House, 1996.
2. EIA/TIA, IS-95 Mobile station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system, Feb. 1993.
3. ANSI J-STD-008, Personal station-base station compatibility requirement for 1.8 to 2.0 GHz CDMA personal communication system, Mar. 1995.
4. A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," IEEE Jour. of Selec. Communi., vol. J-SAC-11, no.6, pp.892-900, Aug. 1993.
5. S. Ariyavisitakul and Li. Chang, "Signal and interference statistics of a CDMA system with feedback power control," IEEE Trans. Communi., vol.41, no.11, pp.1626-1634, Nov. 1993.
6. Q. Shen and W. Krzymien, "The effect of fading on the Erlang capacity of the IS-95 CDMA cellular system," ICC'96, Dallas, pp.1829-1833, 1996.
7. M. Nakagami, "The m-distribution - A general formula of intensity distribution of rapid fading," Statistical method of radio wave propagation, Pergamon Press, Oxford, England, 1960.
8. J. Gibson, The mobile communication handbook, CRC Press, 1996.
9. E.K. Al-Hussaini and A. Al-Bassiouni, "Performance of MRC diversity systems for the detection of signals with Nakagami fading," IEEE Trans. Communi., vol.33, no.12, pp. 1315-1319, Dec. 1985.
10. M. Alouini and A. Goldsmith, "Area spectral efficiency of cellular systems with Nakagami multipath fading," ICC'97, pp.76-80, Montreal, 1997.
11. G. L. Stuber, Principles of mobile communication, Kluwer Academic Publishers, 1996.
12. G. Hess, Land-mobile radio system engineering, Artech House, Ch.10, pp.124-125, 1993.
13. R. van Nee, R. Prasad, "Spread-spectrum path diversity in a shadowed Ricean fading land-mobile satellite channel," IEEE Trans. on Veh. Technol., vol.42, no.2, pp.131-136, May 1993.
14. G. P. Efthymoglou, V. A. Aalo and H. Helmken, "Performance analysis of coherent DS-CDMA sys-

- tems in a Nakagami fading channel with arbitrary parameters," IEEE Trans. on Communi, vol.46, no.2, pp.289-297, May 1997.
15. D. Bertsekas and R. Gallager, Data networks, Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1987.
16. A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, E. Zehavi, "Other cell interference in cellular power-controlled CDMA," IEEE Trans. on Communi, vol.42, no.2/3/4, pp. 1501-1504, Feb./March/Apr. 1994.



김 남 수 (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 정보통신공학과 교수  
 <연구분야> 디지털 이동통신, 무선시스템