

## 2 클래스 CDMA 시스템의 성능과 블로킹 확률

正會員 金斗容\*, 崔德圭\*\*

### Performance and Blocking Probability in a Two-Class CDMA System with mobile stations of 2 classes

Doo Yong Kim\*, Dug-Kyoo Choi\*\* *Regular Members*

#### 요 약

CDMA 시스템의 이동국들은 송신 전력 값에 따라 몇 개의 클래스로 분류될 수 있다. 이때 각 클래스는 차등화된 파라미터에 의하여 결정되고 구분된 이동국들은 서로 다른 품질의 통화를 제공한다. 본 논문에서는 모델을 단순화시키기 위하여 이동국들을 송신 전력 값에 따라 두 클래스로 분류한다. 그리고 제안한 해석적 모델은 각 클래스별 이동국의 역방향 용량과 블로킹 확률을 평가한다. 특히, 역방향 용량을 구하는 모델에서는 셀내에 분포될 수 있는 클래스별 최대 이동국수를 얻는다. 이동국의 성능 분석으로  $E_b/I_0$  값을 1 dB 감소시키므로 25%의 용량 증가 효과를 보여주며 데이터 전송 속도와 전력 제어의 편차가 역방향 용량과 블로킹 확률에 미치는 영향을 분석한다. 아울러 시뮬레이션 결과는 블로킹 확률에 대한 해석적 결과와 큰 차이가 없음을 보여 준다.

#### ABSTRACT

Mobile stations can be classified by the transmission power level in CDMA system. Different performance parameters will be given to each class of mobile stations so that the appropriate quality of services can be provided. In this paper, it is assumed that there are two classes of mobile stations. With the classification of mobile stations, analytical models are presented for the estimates of the reverse link capacity and the blocking probability. From the model for the reverse link capacity, the maximum number of each class of mobile stations to be served is derived. It is shown that  $E_b/I_0$  reduction of 1 dB allows the capacity to be increased by 25% and the data transmission rate and the power control accuracy have a significant effect on the reverse link capacity and the blocking probability. Simulation results are provided for validating the analytical estimates of the blocking probability.

\*순천대학교 전기 전자공학부  
Div. of Electrical and Electronic Eng., Soonchunhyang Univ.

\*\*아주대학교 정보및 컴퓨터 공학부  
Div. of Information and Computer Eng., Ajou Univ.

論文番號: 95223-0623

接受日字: 1995年 6月 23日

## I. 서 론

현재 이동통신에서는 가입자의 수가 급속히 증가하여 성능이 저하되는 문제가 빈번히 발생하고 있다. 이를 해결하기 위하여 현재 사용중인 FDMA 방식 보다 용량면에서 크게 개선된 디지털 CDMA 방식이 개발되고 있다. 아날로그 방식인 FDMA에 비해 CDMA 시스템은 약 10배에서 20배 정도의 용량 증가를 나타내며 신호의 페이딩(fading)에서 생기는 통화 품질의 저하도 크게 개선시키는 것으로 알려지고 있다. 또한, CDMA 가입자는 하나의 통신 채널을 공유하므로 유효 채널을 기다리지 않고 항상 시스템 액세스를 시도할 수 있다. 그러므로 채널 액세스를 원하는 가입자는 이용 가능한 채널 수에 의해 제한을 받는 것이 아니라 시스템 설계 때에 고려된 임계 간섭(interference) 값에 의해 제한된다. 더욱이 CDMA 시스템에서는 전용 채널을 할당하지 않고 메시지 신호의 종류에 따라 전력의 크기를 달리 하므로써 시스템내에서 메시지에 대한 등급을 쉽게 제공할 수 있다[1,2,3].

CDMA 시스템은 가입자인 이동국을 송신 전력 값(transmission power level)에 따라 클래스로 구분할 수 있도록 되어 있다[4]. 따라서 이동국의 클래스에 따라 전력 값이 다르므로 통화 품질의 차등화를 수용하도록 설계하는 것이 가능하다. 예를 들면, 긴급통화나 시스템 정비용 이동국의 통화 품질을 좋게 서비스하기 위해 일반 가입자의 이동국보다 전력값을 높게 할 수 있으며 이동국의 클래스에 따라 채널의 액세스를 차등화 할 수도 있다.

본 논문에서는 이동국의 클래스에 따라 통화 품질에 영향을 미치는 파라미터들을 차등화 시킬 경우 시스템의 역방향(reverse link) 용량의 변화를 산출하고 이에 따른 블록킹 확률의 변화와 CDMA 시스템에 있어서 가장 중요한 요소인 전력 제어의 정확성이 시스템 용량에 미치는 영향을 분석한다.

제 2장에서는 잠음밀도에 대한 비트 에너지의 비율로부터 이동국이 2개 클래스로 분류될 때 시스템의 성능을 평가하여 용량의 변화를 분석하고 제 3장에서는 확률 분포를 이용한 이동국 셀내에서의 블록킹 확률과 전력 제어의 시스템에 대한 영향을 평가하였으며 제 4장에서는 2장과 3장에서 유도된 식을 이용하여 실제 데이터값에 대한 성능과 블록킹 확률을 구하

였으며 제 5장에 결론을 기술하였다.

## II. 역방향 용량 분석

CDMA 디지털 셀룰라 시스템의 성능을 평가하고 특히 용량을 결정하는데 가장 중요한 변수인 잠음 간섭 밀도에 대한 비트 에너지의 비율( $E_{bi}/I_0$ )은 다음과 같이 정의된다[5].

$$\frac{E_{bi}}{I_0} = \frac{P_i/R_i}{N_0 + \frac{I_{ti}}{W}} \quad (1)$$

여기서  $E_{bi}$  = 클래스  $i$ 의 비트 에너지 ( $i=1, 2$ )

$I_0$  = 간섭밀도 (interference density)

$P_i$  = 클래스  $i$ 의 셀 수신 전력

$R_i$  = 클래스  $i$ 의 데이터 전송 속도

$N_0$  = 배경열잡음 밀도

$I_{ti}$  = 클래스  $i$ 에 대한 간섭

$W$  = 주파수 대역

식 (1)은 전력값과 데이터 전송 속도에 따라 구분된 이동국의 클래스를 포함하는 식을 나타내고 있다. 이동국의 클래스에 따른 CDMA 시스템의 용량을 분석하기 위해, 먼저 클래스 1과 클래스 2 이동국의 수를 각각  $N_1$ 과  $N_2$ 라 하고 이에 대응되는 클래스의 전력을  $P_1$ 과  $P_2$ 라고 가정하자. 그러면 한 셀내에 있는 모든 이동국으로부터 받는 기지국의 수신 전력  $P_s$ 는 다음과 같다.

$$P_s = N_1 P_1 v + N_2 P_2 v \quad (2)$$

여기서  $v$ 는 voice activity를 나타낸다.

다음에 한 셀내에서 각 클래스에 대한 간섭을 구하면

$$I_{s1} = (N_1 - 1) P_1 v + N_2 P_2 v \quad (3a)$$

$$I_{s2} = N_1 P_1 v + (N_2 - 1) P_2 v \quad (3b)$$

$I_{s1}$ 과  $I_{s2}$ 는 각각 이동국의 클래스 1과 2에 대한 간섭이다.

이때 이웃한 셀들로부터 받는 간섭을 고려하기 위

하여 frequency reuse factor, F를 다음과 같이 정의할 수 있다[6].

$$F = \frac{P_s}{P_s + I_n} \quad (4)$$

$I_n$ 는 이웃한 셀들로부터 받는 간섭을 나타낸다.

따라서 한 기지국에 대한 모든 셀들로부터 받는 전체 간섭은 다음과 같다.

$$I_{ii} = I_{si} + I_n \quad (5)$$

그러므로 식 (2), (3a), (3b), (4), (5)로부터 각 클래스에 대한 간섭,  $I_{ii}$  ( $i=1, 2$ )는

$$I_{11} = \frac{N_1 P_1 v + N_2 P_2 v}{F} - P_1 v \quad (6a)$$

$$I_{12} = \frac{N_1 P_1 v + N_2 P_2 v}{F} - P_2 v \quad (6b)$$

클래스 1 이동국에 대한 기지국에서의 수신 전력을 구하기 위해 (6a)식을 (1)식에 대입하면 다음식을 얻는다.

$$P_1 = \frac{\frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} (N_o W + N_2 P_2 v \frac{1}{F})}{1 - \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} (\frac{N_1}{F} - 1)v} \quad (7a)$$

마찬가지로 클래스 2 이동국의 기지국에서의 수신 전력을 구하기 위해 (6b)식을 (1)식에 대입한다.

$$P_2 = \frac{\frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} (N_o W + N_1 P_1 v \frac{1}{F})}{1 - \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} (\frac{N_2}{F} - 1)v} \quad (7b)$$

결과적으로 식 (7a)와 (7b)로부터 각 클래스에 대한 기지국에서의 수신 전력은 다음과 같다.

$$P_1 = \frac{\frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} N_o W (1 + \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} v)}{1 - \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} (\frac{N_1}{F} - 1)v - \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} (\frac{N_2}{F} - 1)v + \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} v^2 (1 - \frac{N_1}{F} - \frac{N_2}{F})} \quad (8a)$$

$$P_2 = \frac{\frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} N_o W (1 + \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} v)}{1 - \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} (\frac{N_1}{F} - 1)v - \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} (\frac{N_2}{F} - 1)v + \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} v^2 (1 - \frac{N_1}{F} - \frac{N_2}{F})} \quad (8b)$$

CDMA 시스템에서 모든 이동국들은 하나의 채널을 공유하기 때문에 각각의 이동국들은 서로 간섭으로 작용한다. 그러므로 이동국들의 수가 증가하면 시스템 설계시 설정된 성능 수준을 유지하기 위해 송신 전력의 값도 함께 증가되어야 한다. 식 (8a)와 (8b)에서 부터 분모가 0에 접근함에 따라 이동국의 송신 전력의 크기가 무한히 증가하므로 시스템은 최대 용량을 갖는다. 한편 식 (8a)와 (8b)에서 frequency reuse factor(F)와 voice activity(v) 그리고 주파수 대역(W)은 각각 0.6, 0.4, 1.2288MHz의 정해진 값을 갖는다[6]. 상온에서의 배경 열잡음 밀도( $N_o$ )를 가정하고 데이터가 이동국의 클래스에 따라 9600, 4800 bps로 전달되는 경우 이동국 송신 전력의 크기에 따라 구분된  $E_b/I_o$  값에 의하여 클래스 1과 클래스 2의 최대 이동국 수를 구할 수 있다. 물론, 위에서 구한 최대 이동국 수는 이동국의 각 클래스에 제한된 전력 값과 셀내의 신호의 전파 손실(propagation loss)등은 무시하고 이곳에서는 이동국을 클래스에 따라 구분할 때 각 파라미터들이 전체 시스템의 용량에 미치는 영향만을 고려한다.

식 (8a)와 (8b)로부터 다음 식 (9)는 시스템의 부하로 작용하므로

$$L = \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} (\frac{N_1}{F})v + \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} (\frac{N_2}{F} - 1)v - \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} v^2 (1 - \frac{N_1}{F} - \frac{N_2}{F}) \quad (9)$$

식 (8a)와 (8b)은 다음과 같이 부하의 함수로 표현될 수 있다.

$$P_1 = \frac{\frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} N_o W (1 + \frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} v)}{1 - L} \quad (10a)$$

$$P_2 = \frac{\frac{E_{b2}}{I_o} \frac{R_2}{W} N_o W (1 + \frac{E_{b1}}{I_o} \frac{R_1}{W} v)}{1 - L} \quad (10b)$$

### Ⅲ. 블록킹 확률

FDMA와 TDMA 방식의 시스템에서는 새로운 이동국이 서비스를 얻기 위해서는 먼저 유효 채널 즉 주파수 혹은 타임 슬롯을 할당받아야 한다. 이 때 모든 주파수와 슬롯들이 사용되고 있다면 새로이 통신을 시작하는 이동국에 대해 블록킹이 발생할 것이다. 반면에 CDMA 시스템에서는 모든 이동국들이 하나의 채널을 공유하므로 주파수 혹은 타임 슬롯의 할당에 관계없이 시스템내에 이동국의 서비스를 위해 필요한 수신 장치(receiver-processor)만 갖는다면 새로운 이동국은 채널을 공유하게 된다. 이러한 수신 장치는 시스템에서 충분히 제공될 수 있으므로 CDMA 시스템에서 블록킹은 모든 셀들로 부터 발생하는 간섭 밀도  $I_0$ 가 배경 열잡음 밀도  $N_0$ 를 10dB 초과할 때 전체 간섭이 급격히 증가하여 시스템이 불안정하게 되고 다른 이동국들을 서비스할 수 없는 상태가 초래된다. 우리는 이때의 상태를 블록킹이 발생하는 조건으로 정의한다[7,8]. 그러므로 본 장에서는 이러한 상태에서 셀내에 클래스가 서로 다른 이동국들이 존재할 때 블록킹 확률을 구하고 아울러 시스템 용량에 대한 효과도 분석한다.

식 (6)에서 첫째항이 둘째항보다 상대적으로 크므로 둘째항  $P_{1v}$ 와  $P_{2v}$ 를 무시하면  $I_{11} = I_{12}$ 가 성립하고 이동국으로 부터의 간섭  $I_1$ 를 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$I_1 \cong \frac{N_1 P_{1v} + N_2 P_{2v}}{F} \quad (11)$$

또한, 식 (1)과 (11)로 부터 배경 잡음을 포함하는 전체 간섭은 다음과 같다.

$$I_1 + N_0 W = I_0 W \quad (12)$$

CDMA 시스템의 블록킹 조건은 다음과 같으므로

$$I_1 + N_0 W > I_0 W \quad (13)$$

여기서,  $\frac{I_0}{N_0} = 10 \text{ dB}$  이다.

그러므로 위의 식들로 부터 다음 식 (14)을 얻을 수

있다.

$$N_1 P_{1v} + N_2 P_{2v} > (1 - \frac{N_0}{I_0}) I_0 W F \quad (14)$$

실제로 한 셀내에서 서비스를 받는 이동국의 수는 Poisson 랜덤 변수이고[7]  $P = E_b R$  이므로

$$\sum_{j=1}^{k_1} E_{b1j} R_{1v} + \sum_{i=1}^{k_2} E_{b2i} R_{2v} > (1 - \frac{N_0}{I_0}) I_0 W F \quad (15)$$

여기서,  $E_{b1j}$ 와  $E_{b2i}$ 는 각각 클래스 1과 2의 비트 에너지이며  $k_1$ 과  $k_2$ 는 클래스 1, 2의 이동국 수를 나타낸다. 식 (15)를 다시 다음과 같이 표시하면

$$Z = \sum_{j=1}^{k_1} \frac{E_{b1j}}{I_0} R_{1v} + \sum_{i=1}^{k_2} \frac{E_{b2i}}{I_0} R_{2v} > (1 - \frac{N_0}{I_0}) W F \quad (16)$$

그러므로 CDMA 시스템에 대한 블록킹 확률  $P_B$ 는

$$P_B = \text{Prob}[Z > (1 - \frac{N_0}{I_0}) W F] \quad (17)$$

로 나타낼 수 있다. 식 (17)로 표시된 블록킹 확률을 구하기 위하여는 랜덤 변수  $Z$ 의 확률 분포를 결정하는 것이 필요하므로 이를 위해 중심 극한 정리(Central limit theorem)를 적용한다. 한편 voice activity  $v$ 는 busy 상태(1)와 idle 상태(0)에서 각각  $\alpha$ ,  $1-\alpha$ 의 확률 값을 갖는 랜덤 변수로 가정할 수 있으며 데이터 전송 속도  $R_i$ 는 일정한 상수값을 나타낸다. 그리고 CDMA 시스템은 클래스  $i$ 에 속한 이동국들은 모두 같은  $E_{bi}/I_0$  값을 갖도록 송신 전력을 제어한다. 그러나 통신 환경에 따라 낮은 프레임 에러율을 유지하기 위하여 그리고 시스템의 전력 제어 루프의 정확도에 대한 오차 때문에  $E_{bi}/I_0$ 의 값은 log-normal 분포를 갖고 있는 것이 알려져 있다[7]. 이때 각각의 이동국 클래스에 대한  $E_{bi}/I_0$  값은 클래스에 따라 독립적으로 전력 제어가 이루어지므로 랜덤 변수  $Z$ 의 분포는 독립적인 두개의 normal 분포의 합으로 이루어진 joint normal 분포를 갖는다고 가정할 수 있다. 그러므로 joint density function은 다음과 같다.

$$f(z) = \frac{e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi} \sigma_z} \quad (18)$$

여기서, 클래스 1과 2에 대한 평균을  $\mu_1, \mu_2$  표준 편차를  $\sigma_1, \sigma_2$ 라 하면

$$\begin{aligned} \mu_z &= \mu_1 + \mu_2 \\ \sigma_z^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \end{aligned} \quad (19)$$

위 식 (18)을 식 (17)에 적용하면 블록킹 확률은 다음과 같다.

$$P_B = \int_{\left(1 - \frac{N_0}{I_0}\right)_{WF}}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(z - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2}}}{\sqrt{2\pi} \sigma_z} dz \quad (20)$$

(20)식은 closed-form 해가 존재하지 않으므로 근사값으로 Q-function을 이용하여 블록킹 확률을 구할 수 있다.

$$P_B = Q\left(\frac{\left(1 - \frac{N_0}{I_0}\right)_{WF} - \mu_z}{\sigma_z}\right) \quad (21)$$

식 (19)로 부터  $\sigma_z, \mu_z$ 의 값을 구하면 원하는 블록킹 확률을 얻을 수 있으며 이를 위해  $\mu_1, \mu_2$ 는 다음과 같이 주어진다[9].

$$\mu_1 = E(k_1) E(v) E(R_1) E(E_{b1}/I_0) \quad (22)$$

한편,  $E_{b1}/I_0$ 는 log-normal 분포를 가지고 있으므로

$$E[\exp(x \ln 10/10)] = \exp\left[\frac{(\sigma_x \ln 10/10)^2}{2}\right] \exp(m_x \ln 10/10) \quad (23)$$

여기서,  $\frac{E_{b1}}{I_0} = 10^{x/10}$ 이며  $m_x, \sigma_x$ 는 각각 normal 랜덤 변수  $x$ 의 평균과 표준 편차이다. 그러므로  $\mu_1$ 은 다음과 같이 표시된다.

$$\mu_1 = E(k_1) \alpha R_1 \exp\left[\frac{(\sigma_x \ln 10/10)^2}{2}\right] \exp(m_x \ln 10/10) \quad (24)$$

마찬가지로,  $\frac{E_{b2}}{I_0} = 10^{y/10}$ 이며  $m_y, \sigma_y$ 는 각각 normal 랜덤 변수  $y$ 의 평균과 표준 편차이므로  $\mu_2$ 는 다음과 같다.

$$\mu_2 = E(k_2) \alpha R_2 \exp\left[\frac{(\sigma_y \ln 10/10)^2}{2}\right] \exp(m_y \ln 10/10) \quad (25)$$

$k_1$ 과  $k_2$ 는 Poisson 랜덤 변수이므로 각 클래스에 대한 분산은 다음과 같이 주어 진다[9].

$$\begin{aligned} \sigma_1^2 &= E(k_1) E(v^2) E(R_1^2) E[(E_{b1}/I_0)^2] \\ &= E(k_2) \alpha R_1^2 \exp\left[2(\sigma_x \ln 10/10)^2\right] \exp(2m_x \ln 10/10) \end{aligned} \quad (26a)$$

$$\begin{aligned} \sigma_2^2 &= E(k_2) E(v^2) E(R_2^2) E[(E_{b2}/I_0)^2] \\ &= E(k_2) \alpha R_2^2 \exp\left[2(\sigma_y \ln 10/10)^2\right] \exp(2m_y \ln 10/10) \end{aligned} \quad (26b)$$

식 (21)에 식 (24), (25), (26a), (26b)들을 대입하면 원하는 블록킹 확률을 구할 수 있다.

#### IV. 수치 해석

아래의 표들은 식 (8a)와 (8b)를 이용하여 각 클래스에서 파라미터 값을 변화시켜 전력 값을 차등화시켰을 경우 얻어지는 클래스들의 최대 이동국 수를 보여 주고 있다, 예를 들면, 표 1에서 클래스 1의 이동국 수가 10일때 클래스 2의 최대 이동국 수는 33으로 셀 내의 역방향 용량이 총 43개 이동국을 수용함을 나타낸다. 표 3에서는 시스템내에 클래스 1의 이동국만이 존재할 경우 최대 31개의 이동국을 클래스 2의 이동국만이 존재할 때 최대 97개의 이동국을 수용할 수 있으므로 시스템내에 클래스 1과 2가 동시에 존재할 때 위의 범위내에서 각 클래스의 이동국수가 분포함을 알 수 있다. 표들로 부터 각 클래스의 데이터 전송 속도를 1/2로 줄이면 각 클래스마다 약 2배의 시스템 용량이 증가한다. 표 1과 2에서 클래스 1의  $E_b/I_0$  값을 1 dB만큼 감소시켰을 경우 시스템내의 클래스 2의 이동국 수에 따라서 증가율이 약간의 변화를 보이거나 클래스 1의 용량에서 25% 정도의 증대 효과를 보여 준다. 그러므로 위의 결과로 부터 전체적으로  $E_b/I_0$  값을 1 dB줄임으로 약 25%의 시스템 용량 증대 효과가 있다는 것을 알 수 있으며 데이터 전송 속도를 1/2로 낮춤으로 거의 2배의 용량 증대 효과가 기대된다. 그러나 시스템의 운용에서는 음성 신호가 발생하지 않는 상태에서도 각 이동국은 1200bps의 데이터를 전송하기 때문에 데이터 전송 속도를 1/2로 낮추어도 실제로는 약 1.7배가 증가하는 효과가 있음을 알 수

표 1. 최대 역방향 용량

Table 1. Maximum reverse link capacity with class

Class I :  $E_b/I_o = 8dB$ ,  $R = 9600$  bps

Class II :  $E_b/I_o = 6dB$ ,  $R = 9600$  bps

$V = 0.4$ ,  $F = 0.6$ ,  $W = 1.2288$  Mhz

Class I	Class II	Class I	Class II
0	48	16	23
1	47	17	22
2	45	18	20
3	44	19	18
4	42	20	17
5	41	21	15
6	39	22	14
7	37	23	12
8	36	24	11
9	34	25	9
10	33	26	7
11	31	27	6
12	29	28	4
13	28	29	3
14	26	30	1
15	25	31	0

표 2. 최대 역방향 용량

Table 2. Maximum reverse link capacity with class

Class I :  $E_b/I_o = 7dB$ ,  $R = 9600$  bps

Class II :  $E_b/I_o = 6dB$ ,  $R = 9600$  bps

$V = 0.4$ ,  $F = 0.6$ ,  $W = 1.2288$  Mhz

Class I	Class II	Class I	Class II
0	48	20	23
1	47	21	22
2	46	22	21
3	45	23	19
4	43	24	18
5	42	25	17
6	41	26	16
7	40	27	14
8	38	28	13
9	37	29	12
10	36	30	11
11	35	31	9
12	33	32	8
13	32	33	7
14	31	34	6
15	30	35	4
16	28	36	3
17	27	37	2
18	26	38	1
19	24	39	0

표 3. 최대 역방향 용량

Table 3. Maximum reverse link capacity with class

Class I :  $E_b/I_o = 8dB$ ,  $R = 9600$  bps

Class II :  $E_b/I_o = 6dB$ ,  $R = 4800$  bps

$V = 0.4$ ,  $F = 0.6$ ,  $W = 1.2288$  Mhz

Class I	Class II	Class I	Class II
0	97	16	47
1	93	17	43
2	90	18	40
3	87	19	37
4	84	20	34
5	81	21	31
6	78	22	28
7	75	23	25
8	72	24	22
9	68	25	18
10	65	26	15
11	62	27	12
12	59	28	9
13	56	29	6
14	53	30	3
15	50	31	0

표 4. 최대 역방향 용량

Table 4. Maximum reverse link capacity with class

Class I :  $E_b/I_o = 8dB$ ,  $R = 4800$  bps

Class II :  $E_b/I_o = 6dB$ ,  $R = 4800$  bps

$V = 0.4$ ,  $F = 0.6$ ,  $W = 1.2288$  Mhz

Class I	Class II	Class I	Class II
0	97	31	48
1	95	32	46
2	93	33	44
3	92	34	43
4	90	35	41
5	89	36	40
6	87	37	38
7	86	38	37
8	84	39	35
9	82	40	33
10	81	41	32
11	79	42	30
12	78	43	29
13	76	44	27
14	74	45	25
15	73	46	24
16	71	47	22
17	70	48	21
18	68	49	19
19	67	50	18

20	65	51	16
21	63	52	14
22	62	53	13
23	60	54	11
24	59	55	10
25	57	56	8
26	56	57	7
27	54	58	5
28	52	59	3
29	51	60	2
30	49	61	0

있다[6].

식 (10a)와 (10b)를 이용하여 얻은 그림 1과 2는 시스템의 부하에 따라 기지국에서 각각 다른 클래스의 이동국으로 부터 받는 전력을 나타내며 부하가 1에 접근함에 따라 간섭이 빠르게 증가하므로 이에 따라 전력도 급격히 증가함을 알 수 있다.

다음 그림들은 식 (21)를 이용하여 구한 블록킹 확률을 나타낸다. 그림 3은 셀내에 각 이동국 클래스수가 동일하게 분포되었을 때 블록킹 확률의 변화를 보여주고 있다. 그림으로 부터 클래스 1의  $E_b/I_0$  값을 8dB에서 7dB로 1dB 감소시키므로써 위의 결과와 마찬가지로 약 25%의 용량 증대효과를 얻을 수 있다. 한편, 식 (21)로 표현된 분석 모델의 유효성을 검증하기 위해 식 (16)과 함께 MATLAB을 이용하여 다음과 같이 시뮬레이션을 수행하였다. 즉, 클래스 1, 2의 이

동국 수를 나타내는  $k_1, k_2$ 는 Poisson 분포를 갖으므로 먼저 평균  $k_1$ 과  $k_2$ 에 대한 Poisson 랜덤 수를 얻어 이에 대한  $E_b/I_0$ 의 log-normal 랜덤 수를 발생시켜 얻은  $E_b/I_0$  값을 식 (16)에서와 같이 블록킹 조건과 비교하여 시뮬레이션 결과를 얻는다. 또한 십만개의 데이터 프레임을 발생시켜 수행한 결과와 동일한 효과를 얻기 위해 각각 십만번의 반복 수행을 한다. 그림 3에서 보여주듯이 시뮬레이션 결과는 클래스 1과 2의 이동국의  $E_b/I_0$ 가 8dB와 6dB일 경우와 비교하면 약 1.5% 이내의 오차한계내에 값을 나타내므로 분석 모델에서 얻은 결과와 크게 차이가 없음을 알 수 있다.

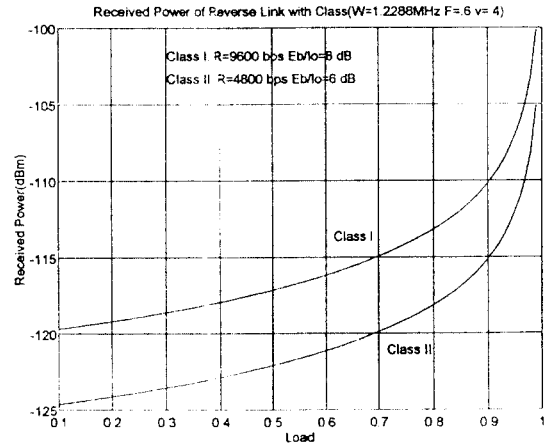


그림 2. 기지국에서의 전력변화  
Fig. 2 The received power at the base station

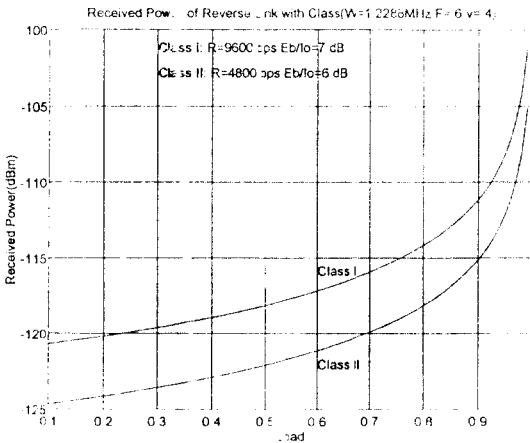


그림 1. 기지국에서의 전력변화  
Fig. 1 The received power at the base station

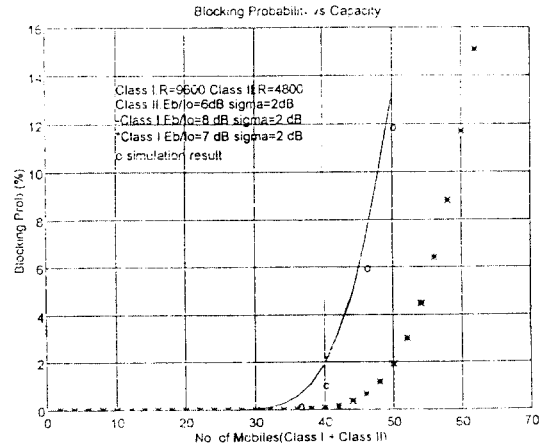


그림 3. 이동국의 블록킹 확률  
Fig. 3 The blocking probability of the mobile station

다음의 그림 4과 5는 셀내의 이동국 클래스 1의 수를 고정시키고 클래스 2의 이동국 수를 증가시킬 때의 블로킹 확률을 나타낸다. 기대했던 바와 같이 클래스 1의 수가 작아질수록 블로킹 확률이 감소함을 볼 수 있다. CDMA 시스템은 기지국에 가까이 위치하고 있는 이동국의 신호가 기지국으로 부터 멀리 떨어져 있는 이동국으로 부터 오는 신호에 대해 심각한

간섭으로 작용하는 것을 방지하고 기지국에서는 모든 이동국들로 부터 오는 신호를 똑같은 세기로 받을 수 있도록 하는 전력 제어 시스템을 구현하고 있다. 두 그림은 이러한 전력제어의 효과가 클래스로 구분된 이동국을 갖는 CDMA 시스템의 용량에 대한 영향을 나타낸다. 즉, 그림으로 부터 전력 제어의 정확도를 나타내는  $\sigma$ 가 2dB에서 1dB로 작아질 때 전체 이동국수에 대한 블로킹 확률도 대략 1/2로 감소하여 이것이 곧 용량 증대 효과로 나타난다.

그러므로 이동국을 통화 품질에 따라 클래스로 구분하여 시스템을 운영하고자 할때 제안된 모델들을 이용하여 유용하게 시스템의 성능을 평가할 수 있을 것이다.

### V. 결 론

본 논문은 CDMA 시스템의 이동국들을 통화 품질에 따라서 2 개의 클래스로 구분할 경우 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 특히, 이동국을 클래스로 분류하여 잡음 밀도에 대한 비트 에너지의 비율 ( $E_b/I_0$ )에 따라 시스템의 용량을 분석하는 해석적 모델을 유도하므로 셀내의 클래스로 분류된 이동국의 분포를 얻는다. 그러므로 시스템의 운영에 적합한 각 클래스별 이동국 수를 결정할 수 있을 것이다. 또한, 중심 극한 정리를 활용하여 이동국의 블로킹 확률을 구한다. 이동국의 각 클래스는 독립적으로 전력 제어가 이루어지므로 클래스들의  $E_b/I_0$  값은 독립적인 두 개의 normal 분포의 합인 joint normal 분포로 표현된다. 이 joint normal density function으로 부터 블로킹 확률을 구하는 식을 얻을 수 있으며 이 블로킹 확률에 대한 해석적 결과를 검증하기 위해 시뮬레이션을 실행하였다.

한편, CDMA 시스템의 역방향 셀의 크기는 신호대 잡음비율, 셀내의 이동국수, 이동국의 최대송신 전력값[6]에 의해 영향을 받으므로 이동국 클래스의 분류에 따른 성능 파라미터 값들의 차등으로 인해 역방향 셀의 크기가 클래스에 따라 달라질 수 있으므로 앞으로 역방향 셀크기에 대한 영향을 분석하는 것이 요구된다. 그리고 핸드오프 요구시 대기상태에 있는 클래스에 우선 순위를 달리 제공할 경우 시스템의 성능을 평가하는 것도 필요할 것이다.

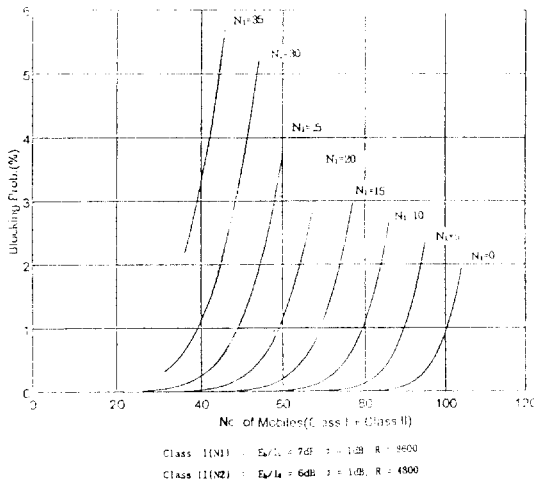


그림 4. 이동국의 블로킹 확률  
Fig. 4 The blocking probability of the mobile station

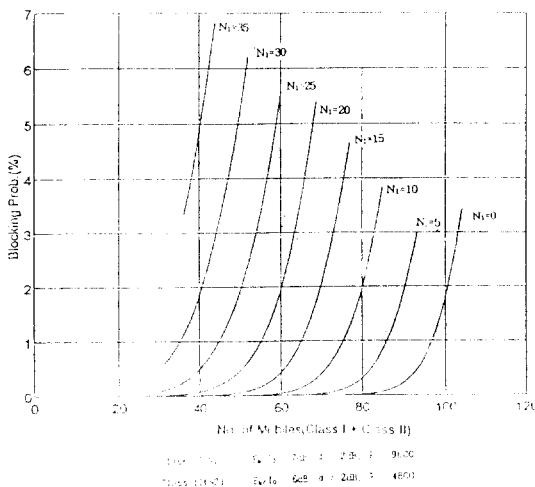


그림 5. 이동국의 블로킹 확률  
Fig. 5 The blocking probability of the mobile station



참 고 문 헌

1. P. Jung, P. W. Baier and A. Steil, "Advantages of CDMA and Spread Spectrum Techniques over FDMA and TDMA in Cellular Mobile Radio Applications," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 42, pp. 357-364, Aug. 1993.
2. K. I. Kim, "CDMA Cellular Engineering Issues," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 42, pp. 345-350, Aug. 1993.
3. G. R. Cooper and R. W. Nettleton, "A Spread Spectrum Technique for High Capacity Mobile Communications," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. VT-27, pp. 264-275, Nov. 1978.
4. 이중모드 광대역 확산 스펙트럼 셀룰라 시스템의 이동국-기지국 호환 표준(IS-95), 한국 전자통신연구소, 1993.
5. K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver and C. E. Wheatley, III, "On the Capacity of a Cellular CDMA System," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 40, pp. 303-312, May 1991.
6. CDMA System Engineering Training Handbook, Qualcomm
7. A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System," IEEE J. Selec. Comm., vol. 11, pp. 892-899, Aug. 1993.
8. A. J. Viterbi, A. M. Viterbi and E. Zehavi, "Performance of Power-controlled Wideband Terrestrial Digital Communications," IEEE Trans. Comm., vol. 41, pp. 559-569, Apr. 1993.
9. W. Feller, An Introduction to Probability Theory and Its Applications, vol. I, pp. 286-302, New York: Wiley 1957.
10. William C.Y.Lee, Mobile Communications Design Fundamentals, John Wiley & Sons, INC. 1993.
11. M.D. Yacoub, Foundations of Mobile Radio Engineering, CRC Press, 1993.



金斗容(Doo Yong Kim)정회원  
 1983년 2월:한양대학교 공과대학  
 전자공학과 공학사  
 1987년 6월:미국 플로리다 공과대  
 학 전기공학과 공학  
 석사(MSEE)  
 1991년 9월:미국 미주리 주립대학  
 공학 박사(Ph.D.)

1991년 10월:삼성전자 선임연구원  
 1992년 3월~현재:순천향대학교 전기전자공학부 조교수  
 ※관심분야:이동 통신, 컴퓨터 통신, 무선 LAN, ATM  
 등



崔德圭(Dug-Kyoo Choi)정회원  
 1966년:서울대학교 공과대학 원  
 자력공학과 공학사  
 1984년:미국 Wright 주립대 전  
 산학 석사  
 1989년:미국 Massachusetts 주립  
 대 전산학 박사  
 1968년:KIST 연구원

1976년~1992년:국방과학연구소 책임연구원  
 1992년~1994년:고등기술연구원 연구위원  
 1992년~현재:아주대학교 정보및 컴퓨터공학부 교수  
 ※관심분야:High speed LAN, ATM, PCS-protocols  
 and performance