

# Hot-Spot 마이크로셀을 가진 계층적 CDMA 셀룰러 시스템에서 역방향 및 순방향 링크에 대한 주파수 공유 방식의 용량 분석

정회원 이상문\*, 이영용\*\*, 최형진\*\*

## Capacity of Spectrum Sharing Scheme for Reverse/Forward Link in Hierarchical CDMA Cellular Systems with Hot-Spot Microcell

Sang Mun Lee\*, Young Yong Lee\*\*, Hyung Jin Choi\*\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 Hot-spot 마이크로셀을 가진 계층적 CDMA 셀룰러 시스템에서 여러 가지 자원 공유 방식들 중 스펙트럼 공유 방식에 대한 용량을 역방향 링크와 순방향 링크에 대해 분석한다.

용량 분석은 마이크로셀 반경 및 마이크로셀의 위치 및 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력 비를 고려하여 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 수행된다. 시뮬레이션 결과로부터 스펙트럼 공유 방식의 용량을 각 링크에 대해 이러한 영향들을 분석하였고, 일반적인 설계 접근방식을 제시하였다. 또한 각 링크에 대해 스펙트럼 공유 방식의 성능을 용량 평면도를 통해 분석하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we analyze capacities of spectrum sharing scheme for both reverse link and forward link in hierarchical CDMA cellular systems with Hot-spot microcell.

Capacity analysis is performed through Monte-Carlo simulation by considering microcell radius, location of microcell, and transmission power ratio of microcell to macrocell. From simulation results, we analyzed these effects and derived a general design approach. In addition, the performance of spectrum sharing scheme for each link is analyzed in the capacity plane.

### 1. 서론

마이크로셀룰러 시스템은 많은 트래픽량을 효과적으로 처리할 수 있다. 일반적으로 셀룰러 시스템에서 주파수 재사용 효율의 증가는 셀의 크기를 줄임으로서 가능하다. 그러나 고속 이동국이 마이크로셀을 통과하게 되면 몇 가지 문제점 즉, 빈번한 핸드오프, 호 끊김의 증가, 고속 스위칭의 필요성 등이 발생하게 된다. 또한 지역에 따라 트래픽량의 불균형이 생길 수도 있다. 이러한 경우에 비 혼잡지

역에 마이크로셀을 배치하는 것은 시스템의 효율을 낮추게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 계층적인 셀룰러 시스템(Hierarchical Cellular System)이 대두되었다<sup>1-4)</sup>. 계층적 셀룰러 형태의 대표적인 것이 매크로/마이크로 셀룰러 시스템인데, 이것은 매크로셀과 마이크로셀이 같은 지역에서 중첩된 형태를 갖는 것으로, 매크로셀은 주로 비 혼잡 지역의 고속 이동국을 대상으로 하며, 마이크로셀은 혼잡지역에서 저속 이동국을 대상으로 한다.

계층적 구조에서 주파수 자원을 효율적으로 이용

\* 문경대학 정보통신계열

\*\* 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

논문번호 : K01070-0216, 접수일자 : 2001년 2월 16일

하는 방법은 시스템 설계 시에 매우 중요하다. 일반적으로 계층간에 자원을 공유 방식에는 3가지 방법 즉, 스펙트럼 공유(spectrum sharing)와 스펙트럼 분할(orthogonal sharing) 및 동적 공유(dynamic sharing) 방식이 있다<sup>5,6)</sup>. 본 논문에서는 이들 방식들 중에서 스펙트럼 공유 방식에 대한 용량을 Hot-Spot 마이크로셀을 가진 계층적 CDMA(Code Division Multiple Access) 셀룰러 시스템에 대해 살펴보고자 한다.

먼저 스펙트럼 공유 방식은 계층적 구조에서 매크로셀과 마이크로셀이 동일한 확산이득을 가지고 하나의 반송파 주파수를 재사용 하는 것으로 계층간 트래픽 변화에 대해 유연성을 가질 수 있다. 그러나 매크로셀 과 마이크로셀 사이의 상호 간섭은 중요한 문제가 되는데, 특히 높은 송신전력을 가진 매크로셀의 기지국으로부터의 간섭은 마이크로셀의 이동국에 대해 통신품질의 열화를 일으키게 된다. 이 방식에서 시스템 용량을 결정하는 지배적인 요소는 계층간의 전력비가 된다.

한편 자원 공유 방식에 대한 용량 분석은 여러 문헌에서 언급된 바 있으나 대부분 TDMA(Time Division Multiple Access)와 관련하여 다루었다<sup>6,7)</sup>. 문헌[8,9]에서는 계층적 셀룰러 구조에서 CDMA 시스템에 대해 스펙트럼 공유 방식에 대해 역방향 링크만을 고려하였다. 그리고 문헌[10]에서는 CDMA 시스템에서 자원 공유 방식으로 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식을 역방향 링크에 대해서 고려하였다. 이와 같이 계층적인 CDMA 셀룰러 시스템에 대한 자원 공유 방식의 분석은 주로 역방향에 집중되어 있는 편이고 순방향 링크에 대한 비교 분석은 아직 미흡한 편이다.

일반적으로 순방향 링크의 구현과 성능은 역방향 링크와 상당히 다르다. 그 이유는 주로 다음 3가지에 근거한다<sup>11)</sup>. 첫째, 다대일 대신에 일대다의 접속 형태이며 둘째, 동기와 동기 검파는 공통 파일럿 신호에 의존하며 셋째, 간섭은 많은 분산된 작은 송신전력을 가진 이동국으로부터가 아닌, 몇 개의 큰 송신전력을 가진 기지국으로부터 수신된다.

따라서 본 논문에서는 Hot-Spot 마이크로셀을 가진 계층적인 CDMA 셀룰러 시스템에 대해 역방향 링크 및 순방향 링크에 대해 스펙트럼 공유 방식에 대해 여러 가지 파라미터 즉, 마이크로셀 반경, 마이크로셀의 위치 및 계층간의 전력비를 고려하여 이들 파라미터들이 역방향 및 순방향 링크의 시스템 용량에 대해 어떠한 영향을 미치는지 분석하고

자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서는 계층적 셀룰러 구조의 모델 및 전파 모델에 대해 기술하였으며 3절에서는 역방향 링크에 대한 시스템 용량을 언급하였고, 4절에서는 순방향 링크의 시스템 용량에 대해 다루었으며, 5절에서는 시뮬레이션을 통한 결과를 제시하고 분석하였다. 마지막으로 6절에서 결론을 맺는다.

## II. 계층적 셀룰러 구조 및 전파 모델

본 논문에서 고려하는 시스템 모델은 그림 1과 같다. 매크로셀내에 1개의 Hot-spot 마이크로셀이 존재하는 경우를 고려한다. 그림 1에서 매크로셀의 경우 중앙의 셀을 기준 셀(reference cell)로 정의한다. 기준 매크로셀의 기지국으로부터 기준 매크로셀 내의 마이크로셀의 기지국까지의 거리를  $D$  로 나타내고 매크로셀의 반경은  $R_M$ , 마이크로셀의 반경은  $R_s$ 로 표시한다. 전파모델은 주로 long-term 페이딩에 의한 신호 감쇠를 고려하고 short-term 페이딩은 본 논문에서는 고려하지 않기로 한다. 이때 기지국으로부터 거리  $r$  위치의 이동국에 의해 수신되는 신호는 다음과 같이 주어진다<sup>8)</sup>.

$$P_r = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 P_t r^{-\gamma} 10^{-\frac{\zeta}{10}} & r \leq z \\ (h_{bs} h_m)^2 P_t r^{-\gamma} 10^{-\frac{\zeta}{10}} & r > z \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $\lambda$ 는 반송파 주파수의 파장을 의미하고,  $r$ 는 감쇠 상수이며,  $P_t$ 는 기지국의 송신전력이다. 그리고  $h_{bs}$ 는 기지국 안테나 높이이고,  $h_m$ 은 이동국의 안테나 높이를 의미하며,  $\zeta$ 는 long-term 페이딩에 의한 랜덤변수이다. 또한  $z$ 는 break point를 의미하는 것으로 다음과 같이 결정된다.

$$z = \frac{4\pi h_{bs} h_m}{\lambda} \quad (2)$$

기지국으로부터 이동국까지의 지상거리를  $d$ 라고 하면 실제 경로상 거리  $r$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$r = \sqrt{d^2 + (h_{bs} - h_m)^2} \quad (3)$$

$$z = \sqrt{r_b^2 + (h_{bs} - h_m)^2} \quad (4)$$

여기서  $r_b$ 는 break point에 대응하는 지상 거리

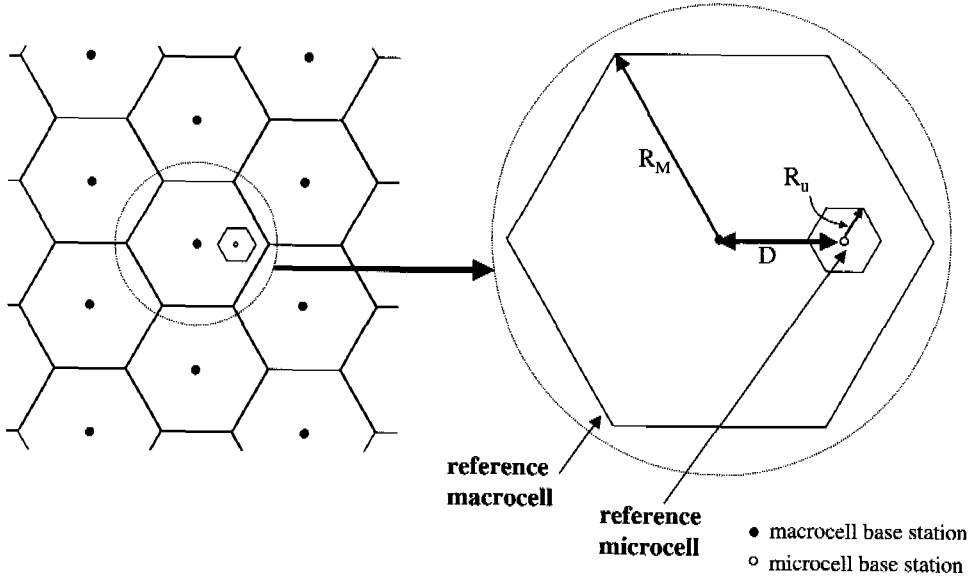


그림 1. 계층적 셀룰러 구조

이다. 이들 관계식은 적절한 파라미터를 사용하여 매크로셀과 마이크로셀 모두에 적용된다.

한편 long-term 페이딩 성분  $\xi$ 는 평균이 0이고 표준편차가  $\sigma$  인 가우시안 분포를 가지는 확률변수로서 매크로셀과 마이크로셀에 대해 다른 값을 가진다. 그런데 다른 셀로부터의 간섭은 두 개이상의 기지국으로부터 수신되는 경로손실을 비교하여야 하기 때문에 각 기지국으로부터 동일한 이동국까지 경로손실에 대한 상관관계가 고려되어야 한다.  $i$ 번째 기지국으로부터 이동국이 수신하는 신호는 기지국과 이동국 사이의 지형지물에 의해 결정되는데 이에 따른 상관성을 고려하면  $i$  번째 기지국에 대한 dB손실의 랜덤성분은 다음과 같이 주어진다<sup>[12]</sup>.

$$\xi_i = a\xi + b\xi_i \quad (5)$$

여기서  $a\xi$ 는 이동국의 근처의 성분이고,  $b\xi_i$ 는 기지국에 관련된 성분이다. 상수  $a$  와  $b$ 는  $a^2 + b^2 = 1$ 의 관계를 가지며, 기지국간의 상관도는 50%이면,  $a^2 + b^2 = 1/2$  이다. 식(5)의 랜덤 변수들은 다음과 같은 특성을 가진다.

$$\begin{aligned} E(\xi_i) &= E(\xi) = E(\xi_i) = 0, \\ \text{Var}(\xi_i) &= \text{Var}(\xi) = \text{Var}(\xi_i) = \sigma^2 \quad \forall i, \\ E(\xi_i \xi_j) &= 0 \quad \forall i, \\ E(\xi_i \xi_j) &= 0 \quad \forall i, j, i \neq j. \end{aligned} \quad (6)$$

### III. 역방향 링크에 대한 시스템 용량

본 절에서는 역방향 링크에서 매크로셀과 마이크로셀에 대한 outage율에 대해 살펴본다. outage율의 분석은 매크로셀의 경우 그림 1에서 매크로셀의 중심 셀인 기준 셀에 대해서만 수행한다.

또한 다른 셀 종류에 대해서는 서로 연결되지 않는 것으로 가정한다. 즉 계층간에는 핸드오프가 일어나지 않는다. 이것은 고속 이동국을 관장하는 매크로셀의 이동국이 마이크로셀에 연결되지 않으며, 저속 이동국을 관장하는 마이크로셀의 이동국은 매크로셀에 연결되지 않음을 의미한다.

한편 평면적 셀 구조에 대한  $(E_b/I_o)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\left(\frac{E_b}{I_o}\right) = \frac{P_r G_p}{I_{int} + I_{ext} + N_o W} \quad (7)$$

여기서  $G_p$ 는 확산이득이고,  $I_{int}$  내부 셀 간섭이며,  $I_{ext}$ 는 기준 셀에 대한 외부 셀 간섭을 의미한다. 그리고  $N_o$ 는 배경잡음,  $W$ 는 대역폭을 의미한다.

계층적 구조에 대해서  $(E_b/I_o)_M$ 에 대한 관계는 기존의 평면적인 매크로셀 구조에 대해 추가적인 마이크로셀로부터의 간섭을 고려하면 된다. 즉

$$\left(\frac{E_b}{I_o}\right)_M = \frac{P_r^M G_p}{I_{int}^M + I_{ext}^M + I^u + N_o} \quad (8)$$

따라서  $J_M$ 개의 매크로셀과 하나의 마이크로셀이 존재하고 매크로셀의 이동국의 개수가  $N_M$ 이고, 마이크로셀의 이동국의 개수가  $N_u$ 라고 하면, 매크로셀과 마이크로셀의  $(E_b/I_o)$ 는 각각 배경잡음을 무시한다면 식(9)와 식(10)과 같이 표현된다.

$$\left(\frac{E_b}{I_o}\right)_M = \frac{G_P}{\sum_{i=1}^{N_u} \alpha_i^M + \sum_{k=2}^{J_u} \sum_{i=1}^{N_k} \alpha_i^M \gamma_{MM} + K_p \sum_{i=1}^{N_u} \alpha_i^u \gamma_{uM}} \quad (9)$$

$$\left(\frac{E_b}{I_o}\right)_u = \frac{G_P}{\sum_{i=1}^{N_u} \alpha_i^u + \frac{1}{K_p} \sum_{k=1}^{J_u} \sum_{i=1}^{N_k} \alpha_i^M \gamma_{Mu}} \quad (10)$$

여기서  $K_p = (P_r^u/P_r^M)$ 으로서 매크로셀에 대한 마이크로셀의 수신 신호의 전력비를 의미한다. 또한  $\alpha_i^M$  과  $\alpha_i^u$ 는 각각 매크로셀에 대한 음성활성도  $\rho^M$  과  $\rho^u$ 를 가진 이항 분포를 따르는 이진 랜덤 변수로서 매크로셀의 경우 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$\rho^M \triangleq \Pr(\alpha_i^M = 1) = 1 - \Pr(\alpha_i^M = 0) \quad (11)$$

그리고  $\gamma_{MM}$ ,  $\gamma_{Mu}$ ,  $\gamma_{uM}$ 은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$\gamma_{MM} = \begin{cases} \left(\frac{4\pi h_M h_m}{\lambda}\right)^2 \frac{r_i^2}{r_{MM}^4} & \text{for } r_i < z_M \\ \frac{r_i^4}{r_{MM}^4} & \text{for } r_i \geq z_M \end{cases} \quad (12)$$

$$\gamma_{Mu} = \begin{cases} \left(\frac{4\pi h_u h_m}{\lambda}\right)^2 \frac{r_i^2}{r_{Mu}^2} & \text{for } r_i < z_M \text{ and } r_{Mu} < z_u \\ \left(\frac{4\pi h_u h_m}{\lambda}\right)^2 \frac{r_i^2}{r_{Mu}^4} & \text{for } r_i < z_M \text{ and } r_{Mu} \geq z_u \\ \left(\frac{h_u}{h_M}\right)^2 \frac{r_i^4}{r_{Mu}^2} & \text{for } r_i \geq z_M \text{ and } r_{Mu} < z_u \\ \left(\frac{h_u}{h_M}\right)^2 \frac{r_i^4}{r_{Mu}^4} & \text{for } r_i \geq z_M \text{ and } r_{Mu} \geq z_u \end{cases} \quad (13)$$

$$\gamma_{uM} = \begin{cases} \left(\frac{4\pi h_M h_m}{\lambda}\right)^2 \frac{r_u^2}{r_{uM}^2} & \text{for } r_i < z_u \text{ and } r_{uM} < z_M \\ \left(\frac{4\pi h_M h_m}{\lambda}\right)^2 \frac{r_u^2}{r_{uM}^4} & \text{for } r_i < z_u \text{ and } r_{uM} \geq z_M \\ \left(\frac{h_M}{h_u}\right)^2 \frac{r_u^4}{r_{uM}^2} & \text{for } r_i \geq z_u \text{ and } r_{uM} < z_M \\ \left(\frac{h_M}{h_u}\right)^2 \frac{r_u^4}{r_{uM}^4} & \text{for } r_i \geq z_u \text{ and } r_{uM} \geq z_M \end{cases} \quad (14)$$

매크로셀에 대한 outage 조건은 요구되는  $(E_b/I_o)_M$ 를  $(E_b/I_o)_M^{Req}$  라고 하면  $(E_b/I_o)_M^{Req} > (E_b/I_o)_M$  일 때

일어난다. 따라서 매크로셀에 대한 outage율은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{out}^M = \left[ \left(\frac{E_b}{I_o}\right)_M^{Req} > \left(\frac{E_b}{I_o}\right)_M \right] = \left[ \sum_{i=1}^{N_u} \alpha_i^M + \sum_{k=2}^{J_u} \sum_{i=1}^{N_k} \alpha_i^M \gamma_{MM} + K_p \sum_{i=1}^{N_u} \alpha_i^u \gamma_{uM} > \frac{G_P}{(E_b/I_o)_M} \right] \quad (15)$$

마이크로셀에 대한 outage율은 동일한 절차를 거치면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{out}^u = \left[ \left(\frac{E_b}{I_o}\right)_u^{Req} > \left(\frac{E_b}{I_o}\right)_u \right] = \left[ \sum_{i=1}^{N_u} \alpha_i^u + \frac{1}{K_p} \sum_{k=1}^{J_u} \sum_{i=1}^{N_k} \alpha_i^M \gamma_{Mu} > \frac{G_P}{(E_b/I_o)_u} \right] \quad (16)$$

#### IV. 순방향 링크에 대한 시스템 용량

본 절에서는 순방향 링크에 대한 스펙트럼 공유 방식의 용량을 분석하고자 한다. 서론에서 언급한 바와 같이 순방향 링크에서의 현상은 역방향 링크와 상당히 다르다. 다른 기지국들로부터 간섭을 많이 수신하는 이동국에 대해 순방향 링크 전력을 더욱 커야 한다. 물론 경계지점에서의 이동국은 소프트 핸드오프상에 있을 수 있다. 그러한 경우에 이동국들은 2개 이상의 기지국으로부터 신호 전력을 수신한다. 본 논문에서는 소프트 핸드오프의 고려하지 않고 하나의 기지국으로부터 원하는 신호를 수신하는 것을 고려하기로 한다.

계층적 셀룰러 구조에서 계층간의 전력비만 다르고, 계층별 모든 기지국들의 평균 송신전력은 모두 같고, 주어진 매크로셀내의 여러 이동국들은 그들의 상대적인 필요에 따라 다른 전력레벨로 할당 받는다고 가정한다. 이러한 절차를 전력제어라기 보다는 순방향 전력할당으로서 언급된다<sup>[11]</sup>. 본절에서는 이와 같은 개념을 근거로 하여 순방향 링크에 대한 스펙트럼 공유 방식의 용량을 분석하기 위한 outage율에 대해 살펴보고자 한다.

매크로셀 기지국 1에 의해 제어되는 매크로셀 이동국  $i$ 가  $J$ 개의 매크로셀 기지국들로부터 간섭전력을 수신한다고 가정한다. 매크로셀 이동국  $i$ 에 의해 수신되는 매크로셀의 기지국  $j$ 로부터의 전체 전력을  $P_{r_j}$ 이라 하고, 모든  $j \neq 1$ 에 대하여  $P_{r_1} > P_{r_j}$ 라 하자. 왜냐하면 매크로셀 이동국은 항상 가장 강

한 수신 신호를 가지는 매크로셀 기지국과 교신하여야 하기 때문이다. 이제 어떤 셀에 의해 송신되는 전체 전력의 일부분  $(1-\beta)$ 는 파일럿 신호에 할당된다. 나머지 부분  $\beta$ 는 매크로셀내의  $k_u^M$ 개의 매크로셀 이동국에게 할당된다. 따라서  $i$  번째 매크로셀 이동국은 송신전력의  $\beta\phi_i$ 를 수신한다. 이때  $\phi_i$ 는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$\sum_{i=1}^{k_u^M} \phi_i \leq 1 \quad (17)$$

한편 마이크로셀 기지국으로부터 매크로셀 이동국  $i$ 가 수신하는 신호는 모두 간섭신호로서 고려된다. 따라서 배경잡음을  $N_0$ , 대역폭을  $W$ , 이동국의 데이터 속도를  $R$ 이라고 할 때,  $i$ 번째 매크로셀 이동국에 대한 신호대 간섭비는 다음 식(18)과 같이 표현될 수 있다.

$$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_{M_i} \geq \frac{\beta\phi_i P_{r_i}^M / R}{\left(\sum_{j=1}^{k_u^M} P_{r_j}^M + P_{r_i}^u + N_0 W\right) / W} \quad (18)$$

이제 셀내의 모든 이동국은 같은  $E_b/I_0$ 를 할당 받는다고 가정하자. 역방향 링크에서처럼 이동국이 파워 다중정리를 겪는다면 이 양을 가변적으로 될 수도 있다. 그러나 이 변화는 작고, 해당 이동국에 대해 더 작은  $P_{r_i}$ 를 가정함으로써 설명할 수 있다. 이 때, 모든  $i$ 에 대해  $(E_b/I_0)_i = E_b/I_0$ 로 설정하면,  $i$  번째 이동국에 대한 상대적인 할당은 위의 식(18)로부터 다음과 같이 표현된다.

$$\phi_i = \frac{(E_b/I_0)_M}{\beta W R} \left[ 1 + \sum_{j=2}^{k_u^M} \left( \frac{P_{r_j}^M}{P_{r_{ji}}^M} \right) + \left( \frac{P_{r_i}^u}{P_{r_{ii}}^u} \right) + \left( \frac{N_0 W}{P_{r_{ii}}^u} \right) \right] \quad (19)$$

한편 outage 조건은 식(17)을 만족하지 않을 경우에 일어나는데, 이에 근거한 outage율은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{out}^M = \Pr \left( \sum_{i=1}^{k_u^M} \phi_i^M > 1 \right) \\ = \Pr \left[ \sum_{i=1}^{k_u^M} \alpha_i^M \left( 1 + \sum_{j=2}^{k_u^M} \frac{P_{r_j}^M}{P_{r_{ji}}^M} + \frac{P_{r_i}^u}{P_{r_{ii}}^u} + \frac{N_0 W}{P_{r_{ii}}^u} \right) > \frac{\beta W R}{(E_b/I_0)_M} \right] \quad (20)$$

여기서  $\alpha_i^M$ 는 매크로셀에 대한 음성활성도  $\rho^M$ 를

가진 이항 분포를 따르는 이진 랜덤 변수로서 식 (11)과 같다.

일반적으로 배경잡음은 모든 기지국으로부터 수신되는 전체 신호전력에 비해 무시할 만하다. 따라서 식(20)에서 확산이득(processing gain)을  $W/R = G_p$ 로 나타내고 배경잡음을 무시하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{out}^M = \Pr \left[ \sum_{i=1}^{k_u^M} \alpha_i^M \left( 1 + \sum_{j=2}^{k_u^M} \frac{P_{r_j}^M}{P_{r_{ji}}^M} + \frac{P_{r_i}^u}{P_{r_{ii}}^u} \right) > \frac{\beta G_p}{(E_b/I_0)_M} \right] \quad (21)$$

그리고 마이크로셀에 대한 outage율도 적절한 파라미터를 변경시키고, 매크로셀에 대한 outage율을 구한 절차를 따르면 다음 식(22)와 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$P_{out}^u = \Pr \left[ \sum_{i=1}^{k_u^u} \alpha_i^u \left( 1 + \sum_{j=1}^{k_u^u} \frac{P_{r_j}^M}{P_{r_{ji}}^u} \right) > \frac{\beta G_p}{(E_b/I_0)_u} \right] \quad (22)$$

### V. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 절에서는 Hot-Spot 마이크로셀을 가진 계층적 셀룰러 CDMA 시스템에서 역방향 링크와 순방향 링크에 대한 용량을 스펙트럼 공유 방식에 대해 분석한다. 시스템 용량은 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 구해진다. 시스템 모델은 그림 1에 보인 것처럼 매크로셀내에 한 개의 정육각형 마이크로셀이 포함된 셀룰러 구조를 고려하기로 한다. 시뮬레이션을 위한 주요 파라미터는 다음과 같다.

매크로셀은 2 tier 즉 19개의 셀만을 고려하였고, 신호감쇠 상수는 각 셀에 대해 break point 내부에서는 2, 외부에서는 4로 설정하였다. 또한 shadowing 효과는 매크로셀에 대해 8dB로 설정하였고, 마이크로셀에 대해서는 일반적으로 매크로셀에 비해 덜 심각하므로 4dB로 설정하였다<sup>[8]</sup>. 기지국의 안테나 높이는 매크로셀의 경우 45m, 마이크로셀의 경우 6m로 설정하였으며 이동국의 안테나 높이는 매크로셀과 마이크로셀 모두 1.5m로 하였다. 그리고 매크로셀 반경은 10Km이고 마이크로셀 반경은 0.5Km, 1Km, 1.5Km 각각의 경우를 고려하였다. 음성활성 계수는 매크로셀과 마이크로셀 모두 3/8로 하였다. 확산이득  $G_p=128$ 이고, 요구  $(E_b/I_0)$ 는 역방향에 대해서는 7dB, 순방향에 대해서는 5dB로 가정하였다. 본 절에서의 모든 결과에서 마이크로셀

의 반경과 위치는 매크로셀의 반경으로 정규화 하였으며, outage율이 0.01인 경우에 대한 용량을 구 하였다.

### 5.1 역방향 링크의 용량

그림 2는 마이크로셀의 위치  $D=0.5(5Km)$ 이고 마이크로셀의 반경  $R_u=0.1(1Km)$ 이고 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비  $K_p$ 가 0.5와 10인 경우에 대한 용량 평면도를 나타낸 것이다. 이 그림에서 매크로셀과 마이크로셀간의 허용 영역은 같은 전력비를 가진 두 곡선이 이루는 공통 부분이 된다<sup>[2]</sup>. 이 그림으로부터 두 곡선의 교차 지점은  $K_p$ 가 증가함에 따라 매크로셀의 용량은 감소하고 마이크로셀의 용량이 증가하는 것을 알 수 가 있다. 이 교차 지점은 매크로셀과 마이크로셀의 모든 이동국이 동시에 outage율 0.01을 만족하는 최대지점이 된다. 따라서 마이크로셀의 위치에 따른 용량 및 마이크로셀 반경에 따른 용량을 분석하기 위하여 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따라 이 교차지점을 이용한 용량 평면도를 이용하기로 한다.

그림 3과 그림 4는 마이크로셀의 위치  $D=0.5$ 와  $D=1.0$ 에서 마이크로셀 반경  $R_u=0.05, 0.1, 0.15$ 에 따른 용량 평면도를 나타낸 것이다. 이들 그림으로부터 마이크로셀의 위치에 상관없이 마이크로셀의 반경이 작을수록 전체 용량은 증가하는 것을 알 수 가 있다. 이것은 마이크로셀의 반경이 큰 경우 마이크로셀 이동국이 마이크로셀 기지국으로부터 멀리 있으면 전력제어에 의하여 더 큰 전력의 신호를 송신하므로 마이크로셀 이동국으로부터 매크로셀은 강한 간섭을 받기 때문이다.

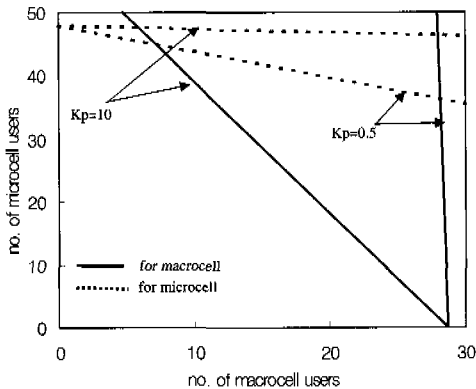


그림 2. 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 용량 평면도

그림 5와 그림 6은 마이크로셀의 반경  $R_u=0.1$ 과  $R_u=0.15$ 인 경우에 대하여 마이크로셀의 위치에 따른 용량 평면도를 나타낸 것이다. 마이크로셀의 위치가 매크로셀의 중심에서 멀어질수록 전체 용량이 증가됨을 알 수 있다. 일반적으로 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비가 고정된 경우에는 마이크로셀의 위치가 매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 매크로셀의 용량은 증가하고 마이크로셀의 용량은 감소하게 된다. 왜냐하면 매크로셀로부터 원거리의 매크로셀 이동국은 전력제어에 의해 근거리보다도 더 큰 송신전력을 가지기 때문에, 이 큰 송신전력이 마이크로셀에 대해 상대적으로 큰 간섭을 일으키게 된다. 매크로셀의 경우는 마이크로셀의 위치가 매크로셀 기지국으로부터 멀어질 수록 더 적은 간섭을 받는 것은 당연하다. 이러한 점을 감안하면 결국 마이크로셀의 위치에 따라 시스템용량을 최대로 하기 위해서는 계층간의 전력비가 최적으로 고려되어야 함을 알 수 있다.

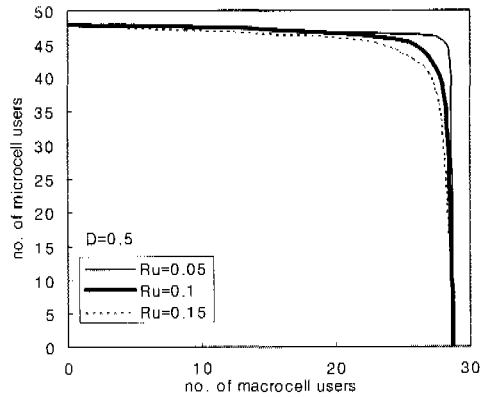


그림 3. 마이크로셀의 반경에 따른 용량평면도(D=0.5)

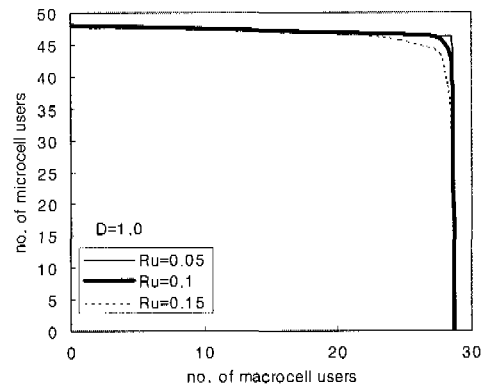


그림 4. 마이크로셀의 반경에 따른 용량평면도(D=1)

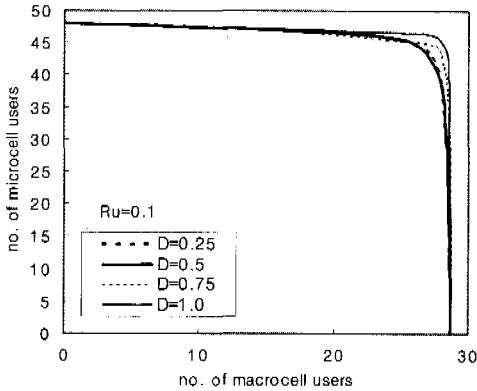


그림 5. 마이크로셀의 위치에 따른 용량 평면도(Ru=0.1)

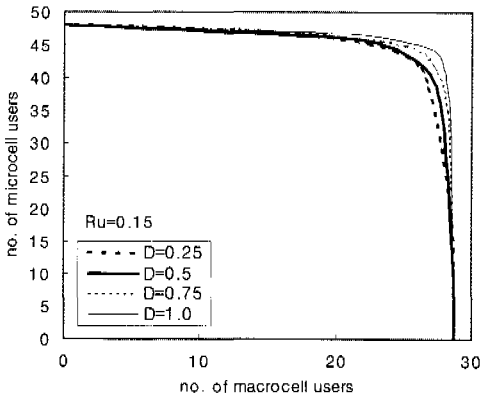


그림 6. 마이크로셀의 위치에 따른 용량 평면도(Ru=0.15)

5.2 순방향 링크의 용량

그림 7은 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 outage율이 0.01을 만족하는 이동국의 수를 마이크로셀의 반경에 따른 영향을 나타낸 것이다. Hot-spot 구조의 순방향 링크에서 매크로셀의 용량은 마이크로셀의 반경의 크기에 관계가 없다. 그러나 마이크로셀의 용량은 마이크로셀의 반경에 영향을 받게 된다. 그림으로부터 마이크로셀의 용량은 마이크로셀의 반경이 작을수록 용량이 커짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 마이크로셀의 반경이 큰 경우는 마이크로셀의 기지국으로부터 원거리에 있는 마이크로셀의 이동국이 수신하는 원하는 신호전력이 상대적으로 작아 지기 때문에 매크로셀로부터의 간섭이 상대적으로 커지게 된다.

그림 8은 마이크로셀 위치 D=1일 때 마이크로셀 반경에 따른 용량 평면도를 나타낸 것이다. 그림 7에서처럼 마이크로셀의 반경이 작은 경우가 전체 용량 측면에서 더 우수함을 보여준다.

그림 9는 마이크로셀의 반경  $R_u=0.1$ 일 때 마이크로셀의 위치에 따른 용량평면도를 나타낸 것이다. 마이크로셀의 위치가 매크로셀의 기지국으로부터 멀어질수록 전체 시스템 용량은 증가하는 것을 알 수 있다.

일반적으로 순방향 링크에서는 마이크로셀의 위치가 매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 매크로셀의 용량은 감소하고, 마이크로셀의 용량은 증가하게 된다. 이 현상은 역방향 링크와 상반되는 것으로 순방향 링크에서는 마이크로셀의 위치가 매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 매크로셀의 이동국은 매크로셀의 기지국으로부터의 경로손실로 인한 약한 신호를 받게 되어 마이크로셀로부터의 간섭신호는 상대적으로 더 크게 된다. 따라서 역방향 링크와 마찬가지로 마이크로셀의 위치에 따라 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비는 최적적으로 설정되어야 한다.

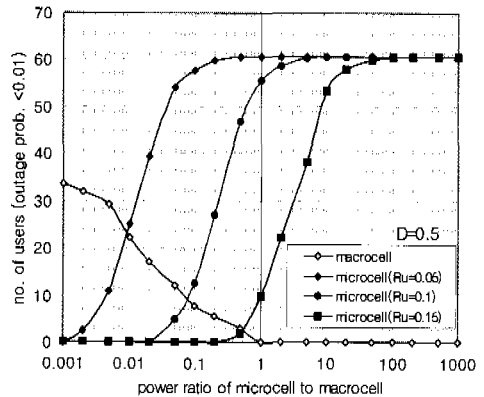


그림 7. 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 outage율(D=0.5)

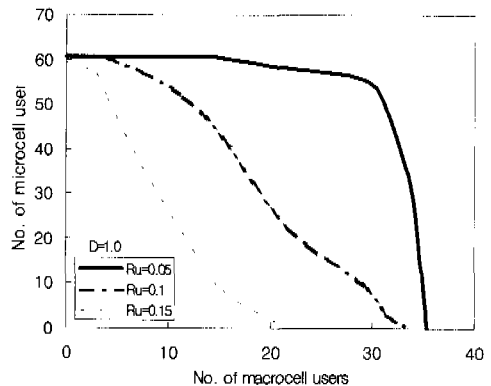


그림 8. 마이크로셀의 반경에 따른 용량평면도(D=1)

한편 전체적으로 Hot-spot 마이크로셀을 가진 계층적 구조에서 순방향 링크에 대한 용량평면도는 역방향 링크와 상당히 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 계층간의 간섭 량의 차이에서 발생한다. 역방향 링크의 경우 매크로셀 기지국에서 수신하는 마이크로셀로부터의 상호 간섭은 작은 전력을 가진 마이크로셀 이동국들로부터 발생한다.

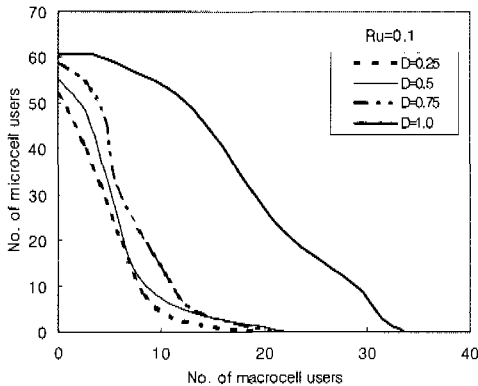


그림 9. 마이크로셀의 위치에 따른 용량 평면도(Ru=0.1)

더구나 마이크로셀의 반경이 작을수록 마이크로셀의 가장자리에 존재하는 마이크로셀의 이동국의 송신전력은 작아도 되므로 매크로셀의 기지국에 더 작은 상호 간섭을 일으키게 된다. 단일 계층간의 전력비가 고정되어 있다고 가정하면 다른 계층간의 이동국 수의 작은 변화는 전체 시스템 용량에 크게 영향을 미치지 못한다. 그러나 순방향 링크의 경우에는 역방향 링크와 다르게 다른 계층의 소수의 기지국들로부터 큰 전력을 가진 간섭을 받게 된다. 특히 매크로셀 이동국이 마이크로셀내에 존재하게 되면 매크로셀의 이동국은 마이크로셀 기지국으로부터 상대적으로 큰 간섭을 받게 되며, 마이크로셀 기지국 근처로 갈수록 그 간섭 량은 더욱 증가하게 되어 전체적인 용량은 감소하게 된다. 그러나 마이크로셀이 매크로셀의 중심에서 멀어지고, 마이크로셀의 반경이 작을수록 즉, 그림 8에서  $D=1$ ,  $R_u=0.05$ 인 경우를 보면, 역방향 링크에 대한 용량평면도와 매우 유사함을 알 수 있다. 이것은 마이크로셀 이동국은 매크로셀 기지국으로부터 가장 간섭을 적게 받으며, 매크로셀 이동국은 마이크로셀내에 존재할 확률이  $D < 1$ 인 경우보다 상대적으로 작으므로 마이크로셀로부터의 간섭이 매크로셀 이동국에 영향

을 줄 확률이 더 적게되어 전체적인 용량은 커지게 되기 때문이다.

## VI. 결론

본 논문에서는 Hot-spot 마이크로셀을 포함한 계층적 CDMA 셀룰러 시스템에서 여러 가지 자원 공유 방식들 중 주파수 공유 방식을 역방향 링크와 순방향 링크에 대한 용량을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 용량 분석은 마이크로셀의 반경과 위치에 따라 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비를 고려하였다. 시뮬레이션 결과로부터 역방향 링크 및 순방향 링크의 용량은 마이크로셀의 반경이 작을수록 전체 시스템 용량은 증가하며, 또한 마이크로셀의 위치가 매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 전체 용량은 증가함을 알 수 있었다.

따라서, Hot-spot 마이크로셀을 가진 계층적 CDMA 셀룰러 시스템에서 역방향 및 순방향 링크의 용량을 최대로 하기 위해서는 마이크로셀이 매크로셀의 중심으로부터 멀리 배치하고, 마이크로셀의 반경을 작게 하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Hakan Eriksson, "Multiple access options for cellular based personal communications", *IEEE Veh. Technol. Conf.*, May 1993.
- [2] C. Lin, L.J. Greenstein, and R.D. Gitlin, "A microcell/macrocell cellular architecture for low and high mobility wireless users," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, Vol.11, No.6, Aug. 1993.
- [3] J. Shapira, "Microcell engineering in CDMA cellular networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.43, No.4, Nov. 1994.
- [4] P. Andermo and L. Ewerbring, "A CDMA-based radio access design for UMTS," *IEEE Personal Commun.* Vol.2, No.1, Feb. 1995.
- [5] X. Lagrange, "Multitier cell design," *IEEE Comm. Mag.*, Aug. 1997.
- [6] I. Bazar and Y. Onozato, "Spectrum resources management on two-tier cellular networks," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E81-A, No.7, July 1998.



[7] Wu JS, Chung JK, Sze MT, "Analysis of uplink and downlink capacities for two-tier cellular system," *IEE Proceedings- Communications*, Vol.144, No.6, pp 405-411, Dec. 1997.

[8] J. Zhou, Y. Onozato and U. Yamamoto, "On the capacity and outage probability of a CDMA hierachical mobile system with perfect/imperfect power control and sectorization," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E82-A, No.7, July 1999.

[9] Wu JS, Chung JK, Yang YC, "Performance study for a microcell hot spot embedded in CDMA macrocell systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.48, No.1, pp 47-59, Jan. 1999.

[10] Kohji Takeo, "Uplink capacity of macro/spot-microcellular systems in frequency division CDMA," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E80-A, No.7 July 1997.

[11] A.J. Viterbi, *CDMA principles of Spread Spectrum Communications*, 2nd ed. Reading, MA: Addison- Wesley, 1995

[12] K.S. Gilhousen, I.M. Jacobs, R. Padovani, and A.J. Viterbi, "On the capacity of a cellular CDMA systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.40, No.2, May 1991.

이 상 문(Sang-Mun Lee) 정회원  
한국통신학회 논문지, 제26권, 제6A호 참조

이 영 용(Young-Yong Lee) 정회원  
한국통신학회 논문지, 제26권, 제6A호 참조

최 형 진(Hyung-Jin Choi) 정회원  
한국통신학회 논문지, 제26권, 제6A호 참조