

# 계층적 CDMA 셀 시스템의 역방향 링크간섭 및 용량 분석

정회원 이영용\*, 이상문\*\*, 최형균\*\*\*, 최형진\*

## Reverse Link Capacity and Interference Analysis of Hierarchical CDMA cellular system

Young-yong Lee\*, Sang-moon Lee\*\*, Hyung-kyun Choi\*\*\*, Hyung-jin Choi\* *Regular Members*

### 요 약

계층셀 구조는 간섭의 제한을 받는 DS/CDMA 시스템에서 단위 면적당 셀 용량을 증가시키기 위한 방법으로 제안되었다. 본 논문에서는 매크로셀/마이크로셀 기반 계층셀 구조의 역방향 링크 간섭 및 용량을 매크로셀과 마이크로셀이 동일한 주파수 대역을 공유한다고 가정하여 수학적으로 분석하였다. 대역을 공유하는 계층셀 구조의 용량 분석은 계층셀 기지국간 수신 신호 전력비를 고려하여 수행하였으며 계층셀 간 대역폭 비에 의해 셀 용량이 결정되는 대역 분할 계층셀 구조의 용량과 비교하였다. 또한, 본 논문에서는 1x 시스템과 3x 시스템의 용량을 계산하여 비교하였으며 3x 시스템이 1x 시스템에 비해 매크로셀은 약 3.45배 마이크로셀은 약 3.65배의 셀 용량 증대 효과를 가진다는 결과를 제시하였다.

### ABSTRACT

Hierarchical cell structure is a network design method for interference limited DS/CDMA system to increase cell capacity per area. In this paper, reverse link interference and capacity of hierarchical cell structure based on macrocell/microcell is derived analytically and is evaluated, assuming that the same spectrum are used in both layers. Reverse link capacity of hierarchical cell structure sharing the same spectrum is calculated considering the ratio of the received power in the two layers and is compared to the capacity of hierarchical cell system using orthogonal sharing in which capacity is determined by bandwidth ratio between layers. In addition, we compare cell capacity of 1x system to 3x system and show that 3x system can increase the user capacity by 3.45 and 3.65 times in case of macrocell and microcell, respectively, compared to 1x system.

### I. 서 론

최근 수년동안 무선 이동 통신 가입자의 수는 높은 성장세로 증가하고 있다. 이로 인해, 망 운영자에게는 단위 면적 당 더욱 많은 가입자를 수용할 수 있는 새로운 무선망에 대한 연구가 필요하게 되었으며 가입자에게는 언제 어디서나 높은 통화 품질

을 제공받을 수 있는 서비스에 대한 요구가 발생하게 되었다. 또한, 기존의 음성 통화뿐만 아니라 인터넷의 빠른 확산과 함께 고속 멀티미디어 데이터 서비스에 대한 수요가 계속 증가하고 있다.

계층적 셀 구조는 이러한 필요성에 의해 제기된 무선망 구조중의 하나로 셀 크기를 줄여 셀 용량을 증대시키는 방식이다. 간섭의 제약을 받는 CDMA

\* 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부(neohuman@ecc.skku.ac.kr)

\*\* 문경대학 정보통신과 \*\*\* 한국통신 M.COM

논문번호: 00392-1016, 접수일자: 2000년 10월 16일

\* 본 논문은 (주)한국통신 M.COM 위탁과제 "IMT-2000 다중셀 구조에서의 무선망 설계"의 수행 일부로서 얻어진 결과임을 밝히고 지원에 감사드립니다.

시스템에서 셀 용량을 증가시킬 수 있는 방법으로는 전력제어, 코딩, 방향성 안테나를 이용한 셀 분할, 음성 및 데이터 활성화율 감시, 소프트 핸드오프, 공간 및 시간 다기화 등이 있으며 이러한 방법은 매크로셀 기반의 평면적 셀 구조에서 연구가 활발히 진행되었다<sup>[1-5]</sup>.

계층적 셀 구조는 작은 반경을 갖는 마이크로셀이나 피코셀을 기존의 큰 반경을 갖는 매크로셀에 중첩시켜 셀 용량을 증대시키고자 하는 무선망 설계 방식으로 IMT-2000에서도 셀 용량을 증가시키기 위한 방법으로 매크로셀, 마이크로셀, 피코셀의 계층적 구조를 지원하고 있다<sup>[5]</sup>. 이러한 연유로 최근 계층적 구조 설계 방식에 대한 많은 논문이 제시되고 있다. 문헌 [5]와 [9]에서는 최적의 계층셀을 설계하기 위해 고려해야 하는 변수들 즉, 셀 크기, 자원 공유 방법, 호 및 핸드오프 처리 전략, 각 계층이 담당해야 하는 이동체의 속도 및 기지국 설치 비용등을 다루고 있다. 문헌 [6]에서는 각 계층의 다중 접속 방식으로 TDMA와 CDMA를 혼합 적용하여 셀 용량을 비교 분석하고 있으며 전반적으로 TDMA 방식 위주로 접근하고 있다. 문헌 [7]은 각 계층이 동일한 주파수 대역의 CDMA 방식을 사용하는 경우에 대한 용량 분석을 수행하였으나 내부 셀 간섭 수식이 지나치게 근사화되어 용량 계산 및 계층셀간 수신 전력비가 정확하지 못하다는 문제점을 가지고 있다. 문헌 [8]은 자원 공유 관점에서 각 계층이 동일한 주파수 대역을 사용하는 CDMA 방식과 TDMA와 CDMA를 혼합한 계층셀 간의 용량 비교를 다루고 있으나 매크로셀과 마이크로셀 각각의 정확한 용량에 대한 언급이 없다는 단점이 있다. 계층셀간 주파수 자원을 관리하는 방법으로는 계층셀이 동일한 주파수 대역을 사용하는 주파수 대역 공유 방식, 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 주파수 대역 분할 방식, 동적 채널 할당 방식의 세 가지 방법이 있다<sup>[5][8]</sup>. 본 논문은 각 계층에 모두 CDMA 방식을 적용할 경우 기존의 CDMA 시스템과의 연결이 가장 적합하다고 판단되는 주파수 대역 공유 방식을 중심으로 역방향 링크 간섭 및 용량을 수학적으로 분석하여 주파수 대역 분할 방식과 비교하였으며 문헌 [7]과 [8]에서 문제로 지적된 사항에 대한 정확한 분석을 하였다. 또한, 본 논문에서는 1x 시스템과 3x 시스템간의 용량 비교를 다루었다. 먼저 II장에서는 본 논문에서 고려한 망 및 채널 모델을 다루었다. III장에서는 계층셀의 내부셀 간섭 및 외부셀 간섭을 분석하였다. IV장에서는

분석된 간섭을 이용하여 계층셀 역방향 링크의 용량을 분석하였으며 V장에서는 III장 및 IV장에서 분석한 수식을 이용하여 셀간 간섭 및 용량을 계산하였다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺었다.

## II. 망 및 채널 모델

그림 1은 본 논문에서 고려한 망 모델로 매크로셀 내부에 마이크로셀이 균일 분포를 형성하고 있으며 매크로셀 또한 균일하게 분포되어 있다고 가정하였다. 매크로셀 및 마이크로셀의 기지국은 셀 중앙에 위치한다고 가정하였다.

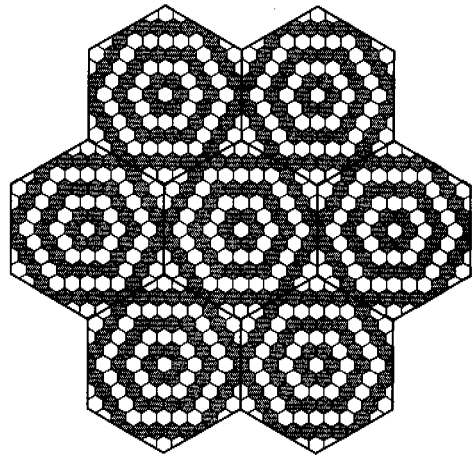


그림 1. 매크로셀/마이크로셀 계층적 구조

신호의 감쇠는 주로 long-term 페이딩과 관련되어 있다고 가정함으로써 무선 전파 환경을 모델링하였으며 다중 경로에 의한 레일레이 페이딩에 의한 영향은 고려하지 않았다.

셀 반경이 넓은 기존의 평면적 셀 구조의 간섭 분석에 적용되는 전파전파 모델은 셀 반경이 줄어들어 상대적으로 LOS(직경로)가 많아진 마이크로셀의 전파전파 모델로 사용하기에는 부적합하므로 계층적 구조에는 새로운 전파전파 모델이 적용되어야 한다. 본 논문에서 적용한 전파전파 모델은 다음과 같다<sup>[6-8]</sup>.

$$P_r = L_p P_t = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \frac{10^{d/10}}{d^2} P_t, & d \leq d_{BP} \text{ (inner area)} \\ (h_{bs}h_{ms})^2 \frac{10^{d/10}}{d^4} P_t, & d > d_{BP} \text{ (outer area)} \end{cases} \quad (1)$$

여기에서,  $P_r$ 는 기지국의 수신 신호 전력,  $L_p$ 는 전파전파 손실,  $P_t$ 는 이동국의 송신 전력,  $\lambda$ 는 파장,  $h_{bs}$ 는 기지국 안테나 높이,  $h_{ms}$ 는 이동국 안테나 높이를 나타낸다.  $d$ 는 기지국 안테나와 이동국 안테나 사이의 경로 길이로  $d = \sqrt{r^2 + h^2}$ 이다. 여기에서,  $r$ 은 기지국과 이동국 사이의 지상 거리,  $h$ 는  $h_{bs} - h_{ms}$ 이다.  $d_{BP} (= 4\pi h_{bs} h_{ms} / \lambda)$ 는 break point로 경로 손실의 변환 지점을 의미하며 break point의 지상 거리  $r_{BP} = \sqrt{d_{BP}^2 - h^2}$ 이다.

$\xi$ 는 음영 효과에 의한 dB 손실로 가우시안 분포를 갖는 확률 변수이며 다음과 같은 특성을 갖는다 [4][8].

$$\xi_i = a\xi + b\xi_i, \text{ where } a^2 + b^2 = 1, 0 \leq a, b \leq 1 \quad (2)$$

여기에서,

$$\begin{aligned} E[\xi_i] &= E[\xi] = E[\xi_i] = 0 \\ \text{Var}[\xi_i] &= \text{Var}[\xi] = \text{Var}[\xi_i] = \sigma^2 \text{ for all } i \\ E[\xi_i \xi_j] &= 0 \text{ for all } i \\ E[\xi_i \xi_j] &= 0 \text{ for all } i \neq j \end{aligned}$$

### III. 계층셀 역방향 링크 간섭 분석

#### 1. 내부셀 간섭

주파수를 공유하는 계층적 셀 구조의 역방향 링크 내부셀 간섭은 매크로셀 사용자들로부터 매크로셀 기지국으로의 내부셀 간섭  $I_{MM}^{int}$ , 마이크로셀 사용자들로부터 매크로셀 기지국으로의 내부셀 간섭  $I_{Mm}^{int}$ , 매크로셀 사용자들로부터 마이크로셀 기지국으로의 내부셀 간섭  $I_{mm}^{int}$ , 마이크로셀 사용자들로부터 마이크로셀 기지국으로의 내부셀 간섭  $I_{mm}^{int}$ 의 네 가지 유형으로 분류할 수 있다.

내부셀 간섭을 분석하기 위해 다음과 같은 가정을 전제로 한다. 외부 매크로셀을 제외한 하나의 매크로셀 및 그 셀에 내장된 마이크로셀만을 고려하며 매크로셀 및 마이크로셀의 평균 사용자수는 각각  $N_M, N_m$ 이다. 매크로셀 및 마이크로셀 사용자는 자신이 접속된 기지국에 의해 완벽하게 전력 제어되며 전력 제어에 이용되는 전력 제어 이득은 식 (1)의 역수를 적용한다. 완벽하게 전력 제어된 매크로셀 기지국 및 마이크로셀 기지국에 수신되는 신호의 평균 수신 전력은 각각  $P_r^M, P_r^m$ 으로 정의된다. 또한, 내부셀 간섭에는 음영 손실을 적용하지

않는다. 그 이유는 간섭량을 적분하여 구하고자할 때 음영 손실의 적분 범위를 정의할 수 없기 때문이다. 음영 손실의 적분 범위를 정의하기 위해서는  $I/S \leq 1$ , 즉 간섭을 수신받는 기준 기지국에 수신되는 간섭 전력  $I$ 가 평균 수신 신호 전력  $S$ 보다 작거나 같아야 한다는 원리가 성립해야 한다. 그러나, 내부셀 간섭 유형 중에는 이러한 원리가 성립하지 않는 경우가 발생한다. 그림 2는 그러한 경우에 대한 예제 모델을 나타낸 것이다.

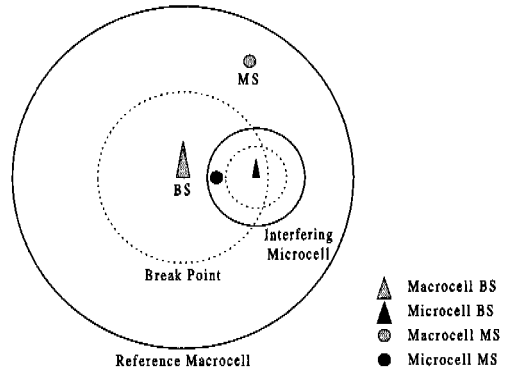


그림 2. 음영 손실 계산을 적용할 수 없는 모델

그림 2에서 마이크로셀 사용자는 마이크로셀 경계에 위치하고 있기 때문에 높은 송신 전력을 가지며 매크로셀의 경로 손실 변환 지점 내부에 위치하므로 낮은 전파전파 손실을 적용받아 매크로셀 기지국에 수신된다. 또한, 그림 2의 마이크로셀 사용자는 먼 거리에 위치한 매크로셀 사용자에 비해 기준 매크로셀 기지국과 LOS가 형성될 확률이 매우 높다. 그러므로, 매크로셀 기지국에 의해 전력 제어되는 매크로셀 사용자 전력에 비해 마이크로셀에서 수신되는 간섭 전력이 더욱 클 수 있다. 특히, 마이크로셀 기지국이 매크로셀 기지국과 접쳐지는 매크로셀 중앙 지점은 더욱 심할 것이라고 예측할 수 있다.

위와 같이 가정하여 매크로셀 사용자들로부터 매크로셀 기지국으로 수신되는  $I_{MM}^{int}$ 의 평균 간섭 전력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E[I_{MM}^{int}] = E\left[\sum_{i=0}^{N_M-1} \chi_{M_i} P_r^M\right] = C_{MM}^{int} N_M P_r^M \quad (3)$$

여기에서,  $\chi_{M_i}$ 는 이항(binomial) 분포를 따르는 확률 변수로 매크로셀 사용자들의 음성 또는 데이터의 활성화율  $P(\chi_M = 1) = \alpha_M$ 이다. 또한,  $C_{MM}^{int}$ 은 후반부에 유도될 용량 계산식의 간소화를 위해 정

의한 변수로 매크로셀 사용자들로부터 매크로셀 기지국으로의 내부셀 간섭 계수라고 정의한다.

주파수 대역 공유 계층셀 시스템에서는 기존의 평면셀 구조에서 존재하지 않았던 내부셀 간섭이 존재하는데 그 중 하나가 마이크로셀 사용자들로부터 매크로셀 기지국으로 수신되는 간섭이다. 단일 마이크로셀 사용자로부터 매크로셀 기지국으로 수신되는 간섭 전력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_r^{mM} = \begin{cases} P_{r1}^{mM} = (\lambda/4\pi)^2 \frac{1}{d_0^2} P_t^m, & d_0 \leq d_{BP}^M \\ P_{r2}^{mM} = (h_{bs}^M h_{ms})^2 \frac{1}{d_0^4} P_t^m, & d_0 > d_{BM}^M \end{cases} \quad (4)$$

여기에서,  $d_0 (= \sqrt{r_m^2 + (h_{bs}^M - h_{ms})^2})$ 는 매크로셀 기지국 안테나와 마이크로셀에 접속된 사용자 안테나 간의 경로 길이,  $r_m (= \sqrt{D_0^2 + r_m^2 - 2D_0 r_m \cos \theta})$ 은 매크로셀 기지국과 마이크로셀 사용자 사이의 지상 거리,  $D_0$ 는 매크로셀 기지국과 마이크로셀 기지국간의 지상 거리,  $h_{bs}^M$ 은 매크로셀 기지국의 안테나 높이를 의미한다. 또한,  $P_t^m$ 은 마이크로셀에 접속된 단말기의 송신 전력으로  $P_r^m/L_p^m$ 이다. 여기에서,  $L_p^m$ 은 마이크로셀 기지국과 마이크로셀 사용자 사이에서 발생하는 전파전파 손실에 해당하며 식 (1)을 통해 구할 수 있다.

$I_{mM}^{int}(n, k)$ 은 매크로셀 내부  $n$ 번째 마이크로셀 링의  $k$ 번째 마이크로셀에 접속된 사용자들로 인한 간섭 전력으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{mM}^{int}(n, k) = \int_0^{d_{BP}^M} \int_0^{2\pi} \psi_m P_{r1}^{mM} \rho_m r_m dr_m d\theta + \int_{d_{BP}^M}^{R_M} \int_0^{2\pi} \psi_m P_{r2}^{mM} \rho_m r_m dr_m d\theta \quad (5)$$

여기에서,  $\rho_m$ 은 마이크로셀의 평균 사용자 밀도로  $N_m/(\pi R_M^2)$ 이다. 또한  $\psi_m$ 는 마이크로셀 사용자의 음성 또는 데이터 활성화율을 나타내는 확률 변수로  $E(\psi_m=1) = \alpha_m$ 이다.

그러므로 매크로셀 내부에 있는 모든 마이크로셀 사용자들로부터 수신되는 평균 간섭 전력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E[I_{mM}^{int}] = E[I_{mM}^{int}(0, 0)] + \left[ \sum_n \sum_{k=1}^{6n} I_{mM}^{int}(n, k) \right], n = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

$$= C_{mM}^{int} N_m P_r^m$$

여기에서,  $C_{mM}^{int}$ 는 마이크로셀에 접속된 단말기로부터 매크로셀 기지국으로 수신되는 간섭 계수라고 정의한다.

위와 같은 방법으로 매크로셀 사용자들로부터 마이크로셀 기지국으로 수신되는 간섭은 다음과 같이 간략하게 표현될 수 있다.

$$E[I_{MM}^{int}] = E \left[ \int_0^{d_{BP}^M} \int_0^{2\pi} \psi_M P_{r1}^{Mm} \rho_M r_M dr_M d\theta + \int_{d_{BP}^M}^{R_M} \int_0^{2\pi} \psi_M P_{r2}^{Mm} \rho_M r_M dr_M d\theta \right] \quad (7)$$

$$= C_{MM}^{int} N_M P_r^M$$

여기에서,  $\rho_M$ 은 매크로셀의 평균 사용자 밀도로  $N_M/(\pi R_M^2)$ 이다.  $\psi_M$ 는 매크로셀 사용자의 음성 또는 데이터 활성화율을 나타내는 확률 변수로  $E(\psi_M=1) = \alpha_M$ 이다.  $C_{MM}^{int}$ 은 매크로셀 사용자들로부터 마이크로셀 기지국으로 수신되는 간섭 전력 계수라고 정의한다.

또한, 마이크로셀 사용자들로부터 마이크로셀 기지국으로 수신되는 간섭도 다음과 같이 간략하게 표현될 수 있다.

$$E[I_{mm}^{int}] = E[I_{mm}^{int}(0, 0)] + E \left[ \sum_n \sum_{k=1}^{6n} I_{mm}^{int}(n, k) \right], n = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

$$= C_{mm}^{int} N_m P_r^m$$

여기에서,  $C_{mm}^{int}$ 는 모든 마이크로셀 사용자들로부터 기준 마이크로셀 기지국으로 수신되는 간섭 전력 계수라고 정의한다.

## 2. 외부셀 간섭

본 논문에서는 외부 매크로셀 사용자들로부터 기준 매크로셀 기지국으로의 간섭  $I_{MM}^{ext}$ , 외부 마이크로셀 사용자들로부터 기준 매크로셀 기지국으로의 간섭  $I_{mM}^{ext}$ , 외부 매크로셀 사용자들로부터 기준 마이크로셀 기지국으로의 간섭  $I_{mm}^{ext}$ , 외부 마이크로셀 사용자들로부터 기준 마이크로셀 기지국으로의 간섭  $I_{mm}^{ext}$ 의 네 가지 외부셀 간섭 유형을 고려하였다.

먼저 외부 매크로셀 사용자들로부터 기준 매크로셀 기지국으로의 간섭을 분석하기 위해 외부 매크로셀의 단일 사용자로부터 기준 매크로셀 기지국으로 수신되는 간섭 전력은 식 (9)와 같이 표현될 수 있다.

$$P_r^{MM} = (h_{bs}^M h_{ms})^2 \frac{10^{\xi_0/10}}{d_0^4} P_t^M \quad (9)$$

$$= \begin{cases} \left( \frac{h_{bs}^M h_{ms}}{\lambda/4\pi} \right)^2 \frac{d_M^2}{d_0^4} 10^{(\xi_0 - \xi_M)/10} P_r^M, & d_M \leq d_{BP}^M \\ \left( \frac{d_M}{d_0} \right)^4 10^{(\xi_0 - \xi_M)/10} P_r^M, & d_M > d_{BP}^M \end{cases}$$

여기에서,  $d_M$ 은 외부 매크로셀에 접속된 사용자와 기지국 안테나간 거리,  $d_0$ 는 외부셀에 접속된 사용자와 기준 매크로셀 기지국 안테나간 거리,  $\xi_M$ 은 외부 매크로셀 기지국과 그 셀에 접속된 사용자 사이에서 발생하는 dB 음영 손실,  $\xi_0$ 은 외부 매크로셀 사용자와 기준 매크로셀 기지국 사이에서 발생하는 dB 음영 손실을 의미한다.

외부 매크로셀 사용자들로부터 매크로셀 기지국으로의 수신되는 간섭 전력은 다음과 같다.

$$I_{MM}^{ext} = P_r^M \left( \frac{h_{bs}^M h_{ms}}{\lambda/4\pi} \right)^2 \int_0^{z_M} \int_0^{2\pi} \psi_M \left( \frac{d_M}{d_0} \right)^2 10^{(\xi_0 - \xi_M)/10} \cdot \phi(\xi_0 - \xi_M, d_0/d_M) \rho_M r_M dr_M d\theta \quad (10)$$

$$+ P_r^M \int_{z_M}^R \int_0^{2\pi} \psi_M \left( \frac{d_M}{d_0} \right)^4 10^{(\xi_0 - \xi_M)/10} \cdot \phi(\xi_0 - \xi_M, d_0/d_M) \rho_M r_M dr_M d\theta$$

여기에서,  $\phi(\xi_0 - \xi_M, d_0/d_M)$ 는 소프트 핸드오버가 발생하는 경계 지점을 정의하는 단위 응답(unit) 함수로 이 함수를 이용해 음영 손실의 적분 범위를 구할 수 있다<sup>[2](7)</sup>.

그러므로 평균 수신 신호 전력으로 정규화된 외부 매크로셀 간섭 전력의 평균은 식 (11)과 같이 정리될 수 있다.

$$E \left[ \frac{I_{MM}^{ext}}{P_r^M} \right] = \alpha_M \left( \frac{h_{bs}^M h_{ms}}{\lambda/4\pi} \right)^2 \int_{-\infty}^{\tau_1^{MM}} \int_0^{2\pi} \left( \frac{d_M}{d_0} \right)^2 \cdot f_1^{MM} \left( \frac{d_M}{d_0} \right) \rho_M r_M dr_M d\theta \quad (11)$$

$$+ \alpha_M \int_{\tau_2^{MM}}^{\infty} \int_0^{2\pi} \left( \frac{d_M}{d_0} \right)^4 f_2^{MM} \left( \frac{d_M}{d_0} \right) \rho_M r_M dr_M d\theta$$

$$= C_{MM}^{ext} N_M$$

여기에서,

$$\{\tau_1^{MM}\}_{d_M \leq d_{BP}^M} = 20 \log \left( \frac{\lambda/4\pi}{h_{bs}^M h_{ms}} \right) + 20 \log \left( \frac{d_0}{d_M} \right) \quad (12)$$

$$\{\tau_2^{MM}\}_{d_M > d_{BP}^M} = 40 \log \left( \frac{d_0}{d_M} \right) \quad (13)$$

이다.  $C_{MM}^{ext}$ 는 외부 매크로셀 사용자들로부터 기준 매크로셀 기지국으로 수신되는 간섭 전력 계수라고 정의한다. 또한, 식 (11)에서  $f_1^{MM}$ 과  $f_2^{MM}$ 은 음영 손실의 평균으로 다음과 같이 유도할 수 있다<sup>(4)</sup>.

$$f_1^{MM} \left( \frac{r_M}{r_0} \right) = E \left[ 10^{(\xi_0 - \xi_M)/10} \phi(\xi_0 - \xi_M, d_0/d_M) \right]_{d_M \leq d_{BP}^M}$$

$$= e^{(\sigma_M \ln 10/10)^2} \left\{ 1 - Q \left[ \frac{\tau_1^{MM}}{\sqrt{2\sigma_M^2}} - \sqrt{2\sigma_M^2} \frac{\ln 10}{10} \right] \right\} \quad (12)$$

$$f_2^{MM} \left( \frac{r_M}{r_0} \right) = E \left[ 10^{(\xi_0 - \xi_M)/10} \phi(\xi_0 - \xi_M, d_0/d_M) \right]_{d_M > d_{BP}^M}$$

$$= e^{(\sigma_M \ln 10/10)^2} \left\{ 1 - Q \left[ \frac{\tau_2^{MM}}{\sqrt{2\sigma_M^2}} - \sqrt{2\sigma_M^2} \frac{\ln 10}{10} \right] \right\} \quad (13)$$

여기에서,  $x (= \xi_0 - \xi_M)$ 는 음영 손실의 차로 평균은 0이고 분산이  $2\sigma_M^2 (= \sigma_M^2 + \sigma_M^2)$ 인 가우시안 (dB) 분포를 갖는다.

그리고

$$Q(x) = \int_x^{\infty} e^{-y^2/2} dy / \sqrt{2\pi}$$

이다.

위와 같은 유도 과정을 이용하면  $E[I_{MM}^{ext}/P_r^M]$ ,  $E[I_{MM}^{int}/P_r^M]$ ,  $E[I_{mm}^{ext}/P_r^m]$ 을 구할 수 있으며 각각은  $C_{mm}^{ext} N_m$ ,  $C_{MM}^{ext} N_M$ ,  $C_{mm}^{int} N_m$ 와 같이 간섭 계수와 간섭셀의 평균 사용자수가 곱해진 형태로 유도될 수 있다.

#### IV. 계층셀 역방향 링크 용량 분석

##### 1. 용량 평면도(Capacity Plane)

계층적 셀 구조의 용량 계산을 위해 이용되는 방법으로는 용량 평면도<sup>[6-8]</sup>와 outage 확률<sup>[1-4]</sup>이 있으며 본 절에서는 용량 평면도를 중심으로 매크로셀 및 마이크로셀의 용량을 분석하였다.

기준 매크로셀 기지국이 수신받는 간섭  $I_M$ 은 내부셀 간섭  $I_M^{int}$ 과 외부셀 간섭  $I_M^{ext}$ 으로 나눌 수 있으며 내부셀 간섭 및 외부셀 간섭은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$I_M^{int} = I_{MM}^{int} + I_{mm}^{int} \quad (16)$$

$$I_M^{ext} = I_{MM}^{ext} + I_{mm}^{ext} \quad (17)$$

매크로셀 기지국이 수신받는 비트 에너지대 간섭 더하기 잡음 전력비를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{I_0}\right)_M &= \frac{E_b}{I_M + N_0} = \frac{P_r^M/R}{(I_{MM}^{int} + I_{MM}^{ext} + N_0)/W} \\ &= \frac{P_r^M(W/R)}{I_{MM}^{int} + I_{MM}^{int} + I_{MM}^{ext} + I_{mM}^{ext} + N_0} \end{aligned} \quad (18)$$

여기에서,  $R$ 은 정보 비트율,  $W$ 은 확산 대역폭을 의미한다. 그러므로,  $W/R$ 은 처리이득을 의미하며  $G$ 라고 정의한다.

적절한 통화 품질을 유지하기 위해 기준 매크로셀 기지국으로 수신되는 신호 전력대 간섭 전력비가  $(E_b/I_0)_{req}$ 보다 커야 하므로 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\frac{E_b}{I_M + N_0} > \left(\frac{E_b}{I_0}\right)_{req} \quad (19)$$

식 (18)을 식 (19)에 대입하면,

$$\frac{I_{MM}^{int} + I_{mM}^{int} + I_{MM}^{ext} + I_{mM}^{ext} + N_0}{P_r^M G} \leq \frac{1}{(E_b/I_0)_{req}} \quad (20)$$

위 식은 다시 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{MM}^{int} N_M + C_{mM}^{int} N_m K + C_{MM}^{ext} N_M + C_{mM}^{ext} N_m K \\ \leq \frac{G}{(E_b/I_0)_{req}} - \frac{N_0}{P_r^M} \end{aligned} \quad (21)$$

식 (21)에서  $K$ 는 마이크로셀 기지국의 평균 수신 신호 전력대 매크로셀 기지국의 평균 수신 신호 전력비로 다음과 같다.

$$K = \frac{P_r^m}{P_r^M} \quad (22)$$

그러므로, 식 (22)를 통해 계층셀 역방향 링크의 셀 용량은 계층셀 기지국간 수신 신호 전력비와 매우 밀접한 연관이 있음을 알 수 있다.

위와 같은 유도 과정을 이용하면 마이크로셀 기지국으로 수신되는 간섭 전력을 이용해 용량 평면도를 도출하기 위한 관계식을 구할 수 있으며 그 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{C_{Mm}^{int} N_M}{K} + C_{mM}^{int} N_m + \frac{C_{Mm}^{ext} N_M}{K} + C_{mM}^{ext} N_m \\ \leq \frac{G}{(E_b/I_0)_{req}} - \frac{N_0}{P_r^M} \end{aligned} \quad (23)$$

## 2. Outage 확률

기준 매크로셀 기지국으로 수신되는 간섭을 이용해 outage 확률을 구하기 위해서는 다음과 같은 조건이 성립해야 한다.

$$\begin{aligned} P_{out}^M &= P(\text{BER} > 10^{-3}) = P\left(\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_M < \left(\frac{E_b}{I_0}\right)_{req}\right) \\ &= P\left(\frac{I_{MM}^{int}}{P_r^M} + \frac{I_{mM}^{ext}}{P_r^M} > L\right) \end{aligned} \quad (24)$$

여기에서,

$$L = \frac{G}{(E_b/I_0)_{req}} - \frac{N_0}{P_r^M} \quad (25)$$

이다.

식 (24)는 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out}^M &= P\left(\frac{I_{MM}^{int}}{P_r^M} + \frac{I_{mM}^{ext}}{P_r^M} > L\right) \\ &= P\left(\frac{I_{MM}^{int}}{P_r^M} + \frac{I_{mM}^{int}}{P_r^M} + \frac{I_{mM}^{ext}}{P_r^M} > L\right) \\ &= P\left(\sum_{i=1}^{N_M-1} \chi_{M_i} + \frac{C_{mM}^{int}}{\alpha_m} \sum_{i=1}^{N_m} \chi_{m_i} \frac{P_r^m}{P_r^M} + \frac{I_{mM}^{ext}}{P_r^M} > L\right) \end{aligned} \quad (26)$$

매크로셀내 활성화된 사용자수가  $p$ 명이고 마이크로셀내 활성화된 사용자수가  $q$ 명이라고 가정하면 outage 확률은 다음과 같이 정의할 수 있다<sup>[2]</sup>. 여기에서,  $p$ 와  $q$ 는 이항 분포를 갖는 확률 변수이다.

$$\begin{aligned} P_{out}^M &= P(\sum \chi_{M_i} = p) P(\sum \chi_{m_i} = q) \\ &\cdot P\left(\frac{I_{mM}^{ext}}{P_r^M} > L - p - qK \frac{C_{mM}^{int}}{\alpha_m} \mid \sum \chi_{M_i} = p, \sum \chi_{m_i} = q\right) \end{aligned} \quad (27)$$

식 (27)은 식 (28)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out}^M &= \sum_{p=0}^{N_M-1} \binom{N_M-1}{p} \alpha_m^p (1-\alpha_m)^{N_M-1-p} \\ &\times \sum_{q=0}^{N_m} \binom{N_m}{q} \alpha_m^q (1-\alpha_m)^{N_m-q} \\ &\times Q\left(\frac{L - p - qK \frac{C_{mM}^{int}}{\alpha_m} - E(I_{mM}^{ext}/P_r^M)}{\sqrt{\text{Var}(I_{mM}^{ext}/P_r^M)}}\right) \end{aligned} \quad (28)$$

여기에서,  $I_{mM}^{ext}/P_r^M$ 의 평균과 분산은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E\left[\frac{I_{mM}^{ext}}{P_r^M}\right] = E\left[\frac{I_{MM}^{ext}}{P_r^M} + \frac{I_{mM}^{int}}{P_r^M}\right] = E\left[\frac{I_{MM}^{ext}}{P_r^M}\right] + K\left[\frac{I_{mM}^{int}}{P_r^M}\right] \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}\left[\frac{I_M^{\text{ext}}}{P_r^M}\right] &= \text{Var}\left[\frac{I_{MM}^{\text{ext}}}{P_r^M} + \frac{I_{mM}^{\text{ext}}}{P_r^M}\right] \\ &= \text{Var}\left[\frac{I_{MM}^{\text{ext}}}{P_r^M}\right] + K^2 \cdot \text{Var}\left[\frac{I_{mM}^{\text{ext}}}{P_r^M}\right] \end{aligned} \quad (30)$$

$\text{Var}[I_{MM}^{\text{ext}}/P_r^M]$ 은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Var}\left[\frac{I_{MM}^{\text{ext}}}{P_r^M}\right] &= \left(\frac{h_{bc}^M h_{ms}^M}{\lambda/4\pi}\right)^4 \int_0^{d_{br}^M} \int_0^{2\pi} \left(\frac{d_M}{d_0}\right)^4 \left[ a_M g_1^{MM}\left(\frac{d_M}{d_0}\right) \right. \\ &\quad \left. - \alpha_{M1}^2 \rho_M r_M \right] \rho_M r_M dr_M d\theta \\ &+ \int_0^{R^M} \int_0^{2\pi} \left(\frac{d_M}{d_0}\right)^8 \left[ a_M g_2^{MM}\left(\frac{d_M}{d_0}\right) \right. \\ &\quad \left. - \alpha_{M2}^2 \rho_M r_M \right] \rho_M r_M dr_M d\theta \end{aligned} \quad (31)$$

여기에서,  $g_1^{MM}$ 과  $g_2^{MM}$ 를 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} g_1^{MM}\left(\frac{d_M}{d_0}\right) &= E\left[10^{2x/10} \Phi^2(x, d_0/d_M)\right]_{d_M \leq d_{br}^M} \\ &= e^{(\sigma_M \ln 10/5)^2} \left\{ 1 - Q\left[\frac{z_1^{MM}}{\sqrt{2\sigma_M^2}} - \sqrt{2\sigma_M^2} \frac{\ln 10}{5}\right] \right\} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} g_2^{MM}\left(\frac{d_M}{d_0}\right) &= E\left[10^{2x/10} \Phi^2(x, d_0/d_M)\right]_{d_M > d_{br}^M} \\ &= e^{(\sigma_M \ln 10/5)^2} \left\{ 1 - Q\left[\frac{z_2^{MM}}{\sqrt{2\sigma_M^2}} - \sqrt{2\sigma_M^2} \frac{\ln 10}{5}\right] \right\} \end{aligned} \quad (33)$$

$\text{Var}[I_{mM}^{\text{ext}}/P_r^M]$ 도 위와 유사한 관계식으로 정의될 수 있다. 또한, 본 절의 전체 유도 과정을 이용하여 마이크로셀의 역방향 링크 outage 확률을 구할 수 있다.

### V. 수치 해석 결과

본 절에서는 앞에서 유도한 수식을 이용해 대역 공유 계층셀 시스템의 역방향 링크 간섭 및 용량을 계산하여 대역 분할 계층셀 시스템의 용량과 비교하였다. 간섭 계산을 위해 고려한 외부 매크로셀의 tier 수는 5이며 매크로셀 내부는 마이크로셀로 모두 채워져 있다고 고려하였다. 간섭 및 용량 계산을 위해 적용한 시스템 파라미터가 표 1에 정의되어 있다.

그림 3부터 6까지는 수식으로 유도한 간섭을 계산하여 계층셀 기지국간 수신 전력비  $K$ 를 변화시켜가면서 용량 평면도를 구한 것이다. 그림에서 빗금 영역이 매크로셀 용량과 마이크로셀 용량이 교차하는 영역으로 수용 가능한 셀 용량에 해당한다.

표 1. 시스템 파라미터들

	매크로셀	마이크로셀
이동국 안테나 높이	1.5m	1.5m
기지국 안테나 높이	60m	9m
경로손실 감쇠지수	4, 2	4, 2
음영손실 표준편차	8dB	4dB
셀 반경	10km	1km
$(E_b/I_0)_{req}$	7dB	5dB
chip rate	1.2288, 3.6864Mcps	
data rate	9.6kbps	
캐리어 주파수	2GHz	
음성 활성화율	0.375	
수신 전력비 K	1, 1/2, 1/5, 1/10, 1/20	
섹터비	1/3	

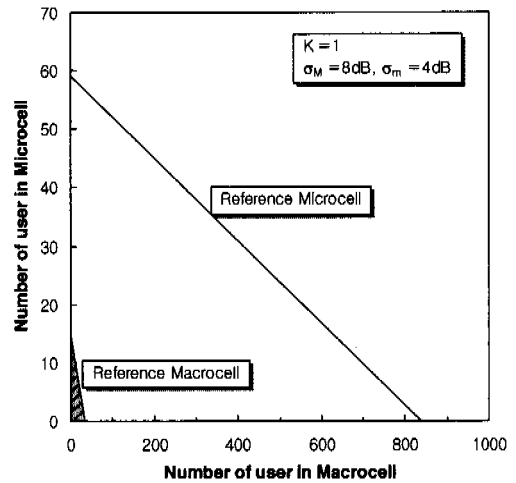


그림 3. 대역 공유 계층셀 시스템의 용량 평면도(K=1)

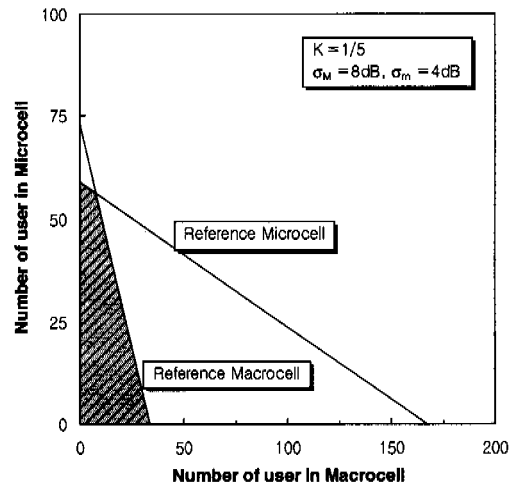


그림 4. 대역 공유 계층셀 시스템의 용량 평면도(K=1/5)

$K$ 가 1인 경우 셀 용량이 매우 작으며  $K$ 가 0.2인 경우 매크로셀 사용자수 증가로 인한 마이크로셀 사용자 수의 감소폭이 크며  $K$ 가 0.05인 경우는 그 반대 현상이 나타난다. 그러므로, 대역 공유 계층셀 구조의 수신 전력비는 0.1이 가장 적당하다. 이후의 대역 공유 방식의 outage 확률 계산 및 대역 분할 방식과의 셀 용량 비교에는  $K$ 의 값에 0.1을 적용한다.

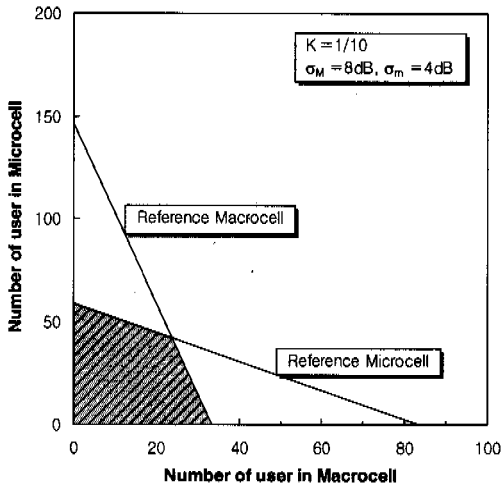


그림 5. 대역 공유 계층셀 시스템의 용량 평면도( $K=1/10$ )

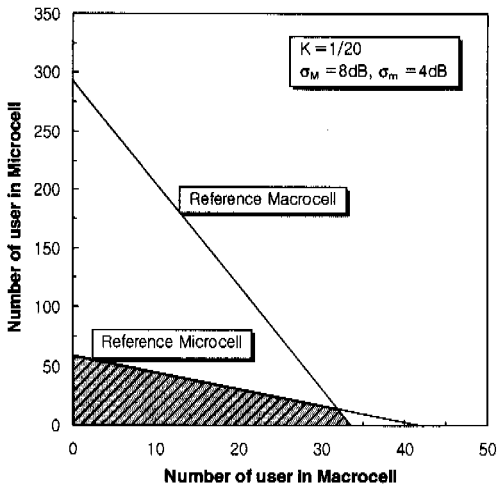


그림 6. 대역 공유 계층셀 시스템의 용량 평면도( $K=1/20$ )

그림 7과 8은 각각 매크로셀 기지국으로 수신되는 간섭 및 마이크로셀 기지국으로 수신되는 간섭을 이용해 수직적으로 계산한 outage 확률을 나타내며 적용한  $K$ 의 값은 0.1이다. 그림 6에서 매크

로셀의 최대 사용자수는 24명이며 간섭셀인 마이크로셀 사용자 수가 증가할수록 매크로셀의 사용자수 감소함을 알 수 있다. 그림 8에서 마이크로셀의 최대 사용자 수는 38명이며 간섭셀인 매크로셀의 사용자 수가 증가할수록 셀 용량이 감소함을 알 수 있다.

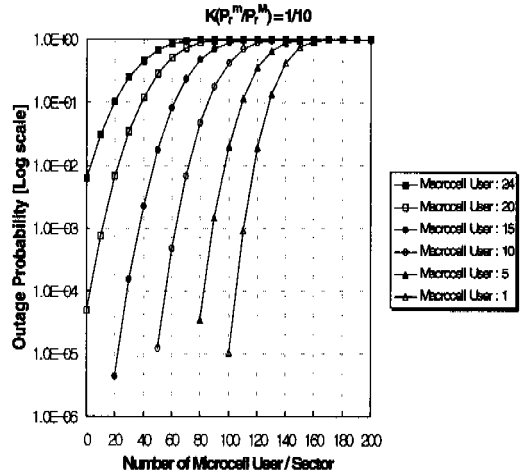


그림 7. 대역 공유 계층셀 시스템중 매크로셀의 outage 확률( $K=1/10$ )

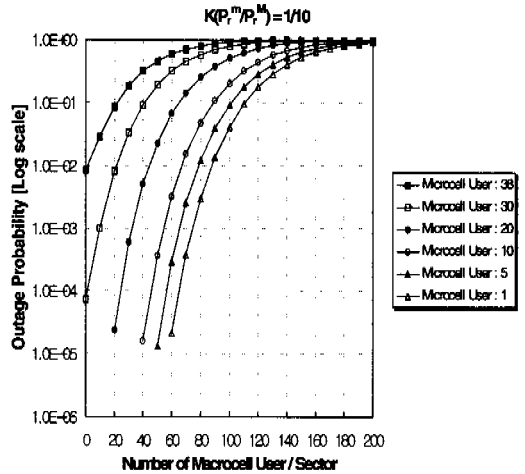


그림 8. 대역 공유 계층셀 시스템중 마이크로셀의 outage 확률( $K=1/10$ )

그림 9는 그림 7과 그림 8에서 outage 확률 0.01 이하를 만족하는 최대 사용자 수를 이용하여 도시한 대역 공유 계층셀의 실제적인 용량 평면도이다.

그림 10은 대역 분할 계층셀 구조에서 outage 확률 0.01 이하를 만족하는 매크로셀과 마이크로셀의



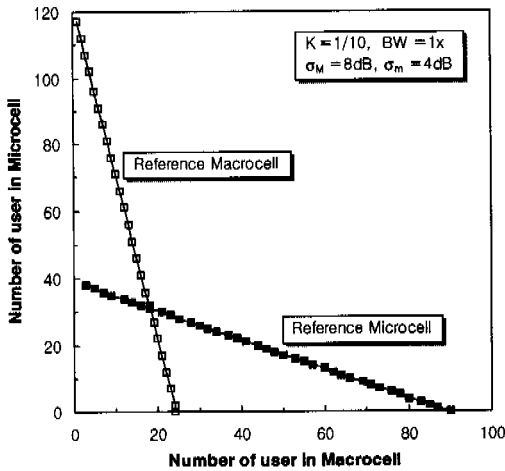


그림 9. Outage 확률 0.01을 만족하는 대역 공유 계층셀 구조의 용량 평면도(K=1/10)

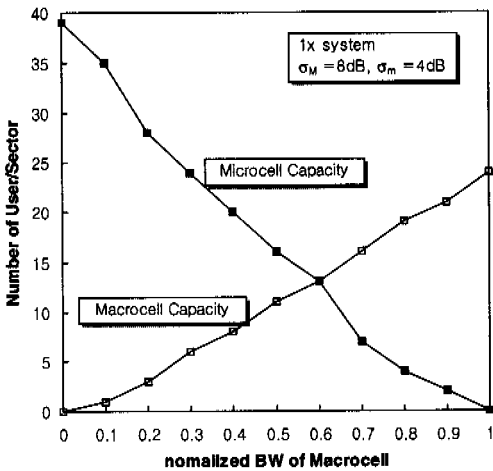


그림 10. Outage 확률 0.01을 만족하는 대역 분할 계층셀 구조의 용량 평면도

최대 사용자 수를 매크로셀의 정규화된 대역폭비의 관점에서 나타낸 것이다. 대역 공유 셀 구조와의 절대적인 비교를 위해 전체 대역폭은 1.2288 MHz로 적용하였으며 매크로셀과 마이크로셀은 전체 대역폭을 분할하여 사용한다고 고려하였다. 그림 10에서  $x$  축의 정규화된 대역폭이 1인 경우가 대역폭 1.2288MHz에 해당한다. 그림 10으로부터 대역 분할 계층셀 구조의 셀 용량은 대역 공유 방식과는 달리 계층셀간 점유 대역 비율에 의해 좌우된다는 것을 알 수 있다. 매크로셀의 용량이 큰 대역 비율에서는 마이크로셀의 용량이 너무 작으며 마이크로셀의 용량이 큰 대역 비율에서는 매크로셀의 용량

이 너무 작음을 알 수 있다. 또한, 마이크로셀은 할당되는 대역폭 비에 따른 셀 용량 변화가 매크로셀에 비해 크다. 그러므로, 적당하다고 사료되는 매크로셀의 정규화된 대역 비율은 0.4에서 0.6 사이이며 0.6인 경우 매크로셀과 마이크로셀의 용량은 각각 13명이다.

대역 분할 방식의 매크로셀과 마이크로셀의 최대 사용자수는 24명, 39명으로 주파수 대역 공유 방식의 최대 용량과 거의 동일하다. 그러나, 그림 9의 매크로셀 용량과 마이크로셀 용량이 겹치는 영역에서는 계층셀의 필요에 따라 유연성있는 용량 변화가 가능하므로 셀 용량이 고정된 대역 분할 방식보다는 더욱 우수한 망 설계 방식이라고 판단할 수 있으며 그림 9에서 용량 평면도의 교점은 매크로셀과 마이크로셀의 사용자 수가 각각 18명과 31명인 경우에 해당하는데 대역 분할 방식에서는 어떠한 대역 비율에서도 이러한 우수한 셀 용량을 얻을 수 없다. 그러므로, 모든 면에서 대역 분할 방식보다는 대역 공유 방식 계층셀 용량이 우수하다고 결론 내릴 수 있다.

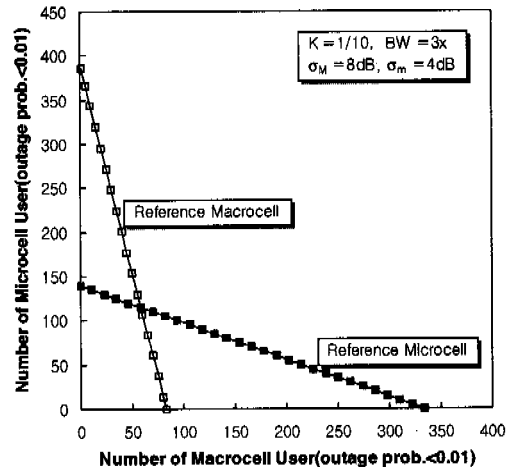


그림 11. Outage 확률 0.01을 만족하는 대역 공유 계층셀 구조의 용량 평면도(K=1/10, BW=3.6884MHz)

그림 11은 대역폭이 3.6864MHz(3x)인 대역 공유 계층셀 시스템의 용량으로 outage 확률 0.01 이하를 만족하는 최대 사용자 수를 이용하여 표현한 용량 평면도로 수신 전력비  $K$ 는 0.1을 적용하였다. 3x 시스템의 섹터당 매크로셀과 마이크로셀의 최대 사용자 수는 각각 82명, 138명으로 1x 시스템의 셀 용량에 비해 매크셀은 약 3.45배 마이크로셀은 약 3.65배의 셀 용량 증대 효과가 기대된다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 매크로셀과 마이크로셀이 동일한 대역폭을 사용하는 대역 공유 계층셀 시스템의 역방향 링크 간섭 및 용량을 수학적으로 분석하여 계산하였다. 대역 공유 계층셀 시스템의 셀 용량은 마이크로셀 기지국 수신 전력과 매크로셀 기지국 수신 전력비  $K$ 와 밀접한 관련이 있으며  $K$ 는 0.1이 적당함을 제시하였다. 그러나, 이 값은 셀 반경 크기는 다르나 반경비가 동일한 기타 경우에 대해 절대적으로 적용할 수는 없는 수치이다. 그 이유는 본 논문에서 고려한 전파전파 모델이 경로 손실 변환 지점을 기준으로 셀 거리에 따라 서로 다른 경로 손실 모델을 적용하고 있으며 또한 매크로셀과 마이크로셀에 서로 다른 안테나 높이를 적용하고 있기 때문이다.

본 논문에서는 대역 공유 계층셀 시스템의 셀 용량을 매크로셀과 마이크로셀이 서로 다른 대역폭을 사용하는 대역 분할 계층셀 시스템의 셀 용량과 비교하였다. 대역 분할 계층셀 시스템의 셀 용량은 매크로셀과 마이크로셀의 점유 대역 비율에 의해 크게 좌우되며 그 값은 0.4에서 0.7 정도가 적당함을 제시하였다. 두 가지 자원 공유 방식간의 비교를 통해 대역 공유 계층셀 시스템이 전체 셀 용량 및 매크로셀과 마이크로셀 용량간의 유연성 측면에서 대역 분할 계층셀 시스템보다 더욱 우수한 망 설계 방식이라고 결론 내릴 수 있다.

또한, 본 논문에서는 대역 공유 방식에서 1x 시스템과 3x 시스템의 셀 용량을 outage 확률 0.01을 만족시키는 최대 사용자 수의 관점에서 비교하였으며 3x 시스템이 1x 시스템에 비해 이론적으로 예측 가능한 3 배 이상의 셀 용량 증대 효과를 가진다는 것을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

[1] Andrew J. Viterbi, *CDMA principles of spread spectrum communication*, Addison-wesley publishing company.  
 [2] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, "On the capacity of a cellular CDMA," *IEEE Trans. Veh. Techn.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-311, May 1991  
 [3] Andrey. M. Viterbi, Andrew. J. Viterbi,

"Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE Journal on selected area in commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 892-899, August 1993

[4] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K. S. Gilhousen, E. Zehavi, "Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity," *IEEE Journal on selected areas in commun.*, vol. 12, no. 8, pp. 1281-1288, October 1994  
 [5] Xavier Lagrange, "Multitier cell design," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 60-64, August, 1997  
 [6] Chin-Lin I, Larry J. Greenstein, Richard D. Gitlin, "A microcell/macrocell cellular architecture for low- and high-mobility wireless users," *IEEE Journal on selected areas in commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 885-891, August 1993  
 [7] Jie Zhou, Yoshikuni Onozato, and Ushio Yamamoto, "On the capacity and outage probability of a CDMA hierarchical system with perfect/imperfect power control and sectorization," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E82-A, no. 7, pp. 1161-1171, July 1999  
 [8] Isman Bazar, Yoshikuni Onozato, "Spectrum resources management on two-tier cellular networks," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E81-A, no. 7, pp. 1330-1338, July 1998  
 [9] Aura Ganz, C. M. Krishna, Dingyi Tang, Zygmunt, "On optimal design of multitier wireless cellular systems," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 88-93, February 1997  
 [10] J. S. Wu, J. K. Chung, M. T. Sze, "Analysis of uplink and downlink capacities for two-tier system," *Proc. Commun.*, vol. 144, no. 6, pp. 405-411, December 1997  
 [11] Michel. G. Jansen, Ramjee Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," *IEEE Trans. Veh. Techn.*, vol. 44, no. 1, pp. 67-75, February 1995  
 [12] Joseph Saphira, "Microcell engineering in CDMA cellular networks," *IEEE Trans. Veh. Techn.*, vol. 43, no. 4, pp. 817-825, November. 1994

- [13] Isman Bazar, Yoshikuni Onozato, Zhou Jie, "Effects of cell distance of two-tier cellular networks," Proc. IEEE 1998 ICUPC, vol. 1, pp. 537-541, October 1998
- [14] L.C. Wang, G.L. Stuber, and C.T. Lea, "Architecture design, frequency planning, and performance analysis for a microcell/ macrocell overlaying Systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.46, no. 4, Nov. 1997

이 영 용(Young-yong Lee)

정회원

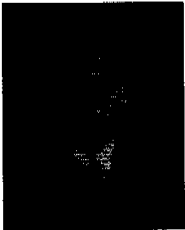


1998년 2월: 성균관대학교  
전자공학과 졸업  
2000년 2월: 성균관대학교  
전기전자 및 컴퓨터공학부  
석사  
2000년 3월~현재: 성균관대학교  
전기전자 및 컴퓨터공학부  
박사과정

<주관심 분야> 이동통신, 무선통신, 동기화 기술

이 상 문(Sang-Mun Lee)

정회원



1991년 2월: 성균관대학교  
전자공학과 졸업  
1993년 2월: 성균관대학교  
전자공학과 석사  
2000년 8월~현재: 성균관대학교  
전기전자 및 컴퓨터공학부  
박사과정 수료

1993년 1월~1998년 1월: LG전자 디지털미디어 연구소 선임연구원

1998년 3월~현재: 문경대학 정보통신계열 전임 교수

<주관심 분야> 디지털통신, 이동통신, 통신신호처리

최 형 균(Hyung-kyun Choi)

정회원

1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 졸업  
1995년 2월: 연세대학교 산업대학원 전자공학 석사  
1991년~1994년: 데이콤  
1995년~1996년 4월: 서울이동통신  
1996년 4월~현재: 한국통신 M.COM  
<주관심 분야> 이동통신, 데이터통신

최 형 진(Hyung-jin Choi)

정회원



1974년 2월: 서울대학교  
전자공학과 졸업  
1976년 2월: 한국과학기술원  
전기전자공학과 석사  
1976년 3월~1979년 7월:  
(주) 금성사 중앙연구소  
연구원

1979년 9월~1982년 12월: 미국 University of Southern California 전기공학과 (공학박사)

1982년 10월~1989년 2월: 미국 Lincom Corp. 연구원

1989년 3월~현재: 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수

<주관심 분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술