

# 중첩 설치된 CDMA 매크로/옥내 피코셀의 영역 및 용량 분석

정회원 최승욱\*, 홍대형\*\*

## Coverage and Capacity Analysis for the Multi-layer CDMA Macro/Indoor-Pico Cell

Seungwoog Choi\*, Daehyoung Hong\*\* *Regular Members*

### 요 약

CDMA 중첩 셀룰라 시스템의 서비스 영역과 시스템 용량을 분석하였다. 매크로셀 시스템 내에 동일한 주파수를 사용하여 옥내의 피코셀이 중첩 설치된 CDMA 중첩 셀룰라 시스템의 경우를 분석하였다. CDMA 중첩 셀룰라 시스템에서 매크로셀과 피코셀간의 간섭이 존재하나, 전체 시스템의 용량은 증가될 수 있다. 매크로셀과 피코셀간의 상호 간섭이 셀 영역, 소프트 핸드오버 영역, 시스템 용량에 미치는 영향을 분석하였다. 시스템 설계를 위한 파라미터를 도출하였고, 이를 통해 옥내 피코셀의 서비스 영역을 조절할 수 있음을 보였다. 또한 옥내 피코셀을 기존의 매크로셀 내에 중첩 설치함으로써 전체 시스템의 서비스 영역과 시스템 용량을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

This paper presents an analysis of coverage and capacity for the multi-layer CDMA cellular system. The multi-layer CDMA system, that shares a common frequency band, consists of macrocells for outdoor users and picocells for indoor users. Though macrocells and picocells interfere with each other, the capacity of the whole system can be increased. We have analyzed the effect of mutual interference upon cell coverage, soft handover areas, and capacities. The parameters involved in the engineering of the system are discussed. The study results show that we can control the service coverage of indoor picocells with the system parameters set properly. It is also shown that the capacity of the whole system can be enhanced smoothly by deploying the indoor picocells within existing macrocells.

### I. 서 론

이동통신 시스템에서 중첩 셀룰라 시스템은 더 많은 사용자를 수용하기 위한 방안 중 하나로 제안되고 있다. 이 중첩 셀룰라 시스템은 매크로셀, 마이크로셀, 피코셀이 중첩되어 구성된다. 마이크로셀과 피코셀은 매크로셀 보다 상대적으로 작은 서비스 영역을 갖지만, 단위 면적당 더 많은 사용자

서비스할 수 있다. 그 결과 현존하는 매크로셀의 서비스 용량이 한계에 이르면 이러한 마이크로셀과 피코셀을 추가하여 해결할 수 있을 것이다.

도심과 같은 인구 밀집 지역에서 옥내 사용자 급속히 증가하리라 예상된다. 옥내 통화는 사용자 밀도가 매우 높고 이동성이 낮은 특성을 가지고 있다. 옥외의 매크로셀 또는 마이크로셀이 옥내의 사용자를 서비스하기 위해서는 건물 벽면을 투과할 수 있는 높은 송신 전력이 요구된다. 만약 건물 벽

\* LG전자(주) 책임연구원(swchoi@lgic.co.kr)  
 \*\* 서강대학교 전자공학과(dhong@sogang.ac.kr)  
 논문번호: 99455-1115, 접수일자: 1999년 11월 15일

면을 초과할 만한 송신 전력까지 높일 수 없다면, 옥내의 사용자는 서비스를 받을 수 없게 될 것이다.

인구 밀집 지역에서 서비스 영역과 서비스 용량을 동시에 증대시킬 수 있는 방안 중에 하나는 현존하는 매크로셀 안에 옥내 피코셀을 설치하는 것이다. CDMA 셀룰라 시스템은 중첩된 셀 들간에 같은 주파수 대역을 공유할 수 있다는 이점이 있다. CDMA 중첩 셀룰라 시스템은 추가적으로 다른 주파수 대역을 사용하지 않으면서, 용량을 증가시키고 서비스 영역을 보다 넓힐 수 있다.

CDMA 중첩 셀룰라 시스템에 관한 다른 논문들은 매크로셀과 옥외 마이크로셀로 이루어진 중첩 셀룰라 시스템을 분석하고 있다<sup>[1-3]</sup>. 이 논문에서는 옥외 사용자를 서비스하는 매크로셀과 옥내 사용자를 서비스하기 위한 피코셀이 중첩 설치된 CDMA 셀룰라 시스템의 서비스 영역과 용량을 분석하였다. 여기에 옥내 전파 환경, 높은 통화 밀도, 매우 낮은 이동성 등 옥내 환경에서 발생하는 특성을 고려하였다. 또 같은 셀과 다른 셀 간의 인접 채널 간섭을 고려하였다. 이 분석 결과로부터 서비스 용량과 소프트 핸드오버 영역을 설계하기 위해 시스템 변수 값을 설정하는 방법을 제시하였다. 또 각 셀의 최대 수용할 수 있는 사용자 수를 산출하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 분석을 위하여 설정한 시스템 모델과 분석 방법을 2장에 기술하였다. 3장에서는 결과를 도출하였고, 각 결과에 대해 분석하였다. 마지막으로 4장에서는 본 연구의 결론을 기술하였다.

## II. 시스템 분석 모델

### 1. 중첩 셀룰라 시스템 모델

분석을 위해 설정된 시스템 모델은 그림 1과 같다. 특정 매크로셀 내에 사각형 모양의 건물들이 존재하고, 이 건물 내에는 피코셀이 설치된다고 가정하였다. 또 건물 내부에는 사용자들이 균일하게 분포한다고 가정하였다. 건물 외부의 사용자 분포는 균일한 분포를 갖는 경우와 중형 분포를 갖는 두 경우를 구분하여 분석하였다.

중형 분포의 경우 확률밀도함수는 다음과 같은 경우를 고려하였다.

$$F(r_m) = \frac{e^{-\frac{r_m^2}{2\sigma_w^2}}}{2\pi\sigma_w^2(1 - e^{-\frac{R_w^2}{2\sigma_w^2}})} \quad (1)$$

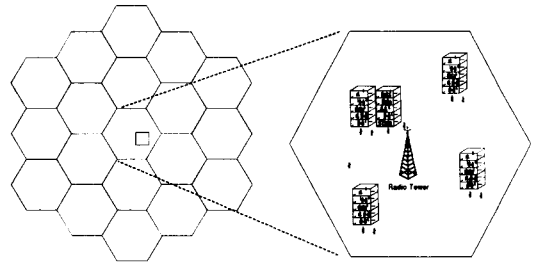


그림 1. 중첩 셀룰라 시스템

이 식에서  $R_m$ 는 매크로셀의 반경,  $r_m$ 은 매크로셀 기지국과 이동국 사이의 거리 ( $0 \leq r_m \leq R_m$ ),  $\sigma_w$ 는 분포의 비균일성(non-uniformity)를 나타낸다.

### 2. 전자파 전파 모델

매크로셀의 전자파 전파 모델은 건물 벽면의 감쇄가 고려되는 Lee 모델을 사용하였다.<sup>[4]</sup> 이 모델의 경로손실은 다음과 같다.

$$L_m(r_m) = L_{m0} + 10n_m \log \frac{r_m}{R_{m0}} + L_{peni} \quad (dB) \quad (2)$$

이 식에서  $r_m$ 은 송신기와 수신기 사이 거리,  $L_{m0}$ 는 단위 거리에서의 경로손실,  $n_m$ 은 경로 감쇄 지수,  $L_{peni}$ 는 건물 벽면의 투과 손실이다.

옥내 경로손실은 break point를 기점으로 다음과 같이 두 식으로 표현되는 전자파 전파 모델을 사용하였다.

$$L_p(r_p) = \begin{cases} L_{p0} + 10n_{p1} \log r_p \quad (dB) & , \text{ if } 1 < r_p \leq r_b(r_p) \\ L_{p0} + 10n_{p1} \log r_b(r_p) + 10n_{p2} \log \frac{r_p}{r_b(r_p)} \\ + L_{FAF}(i) \quad (dB) & , \text{ if } r_p > r_b(r_p) \end{cases}$$

$$r_b(r_p) = \min[R_B, k(r_p)] \quad (3)$$

여기서  $L_{p0}$ 는 단위의 거리(1m)에서의 전송 손실,  $R_B$ 는 Break Distance,  $n_{p1}$ 은 Break Distance 이전의 경로 감쇄 상수,  $n_{p2}$ 는 Break Distance 이후의 경로 감쇄 상수,  $r_p$ 는 이동국과 기지국 사이의 거리이다. 또  $k(r_p)$ 는 건물 벽면과 기지국 사이의 거리이고  $L_{FAF}(i)$ 는 층간의 전파 전송 손실이다. 여기서  $i$ 는 송신기와 수신기간의 층수이다.

### 3. 서비스 영역

순방향 링크의 서비스 영역은 수신 파일럿 신호

의  $E_c/I_t$ 가 특정 link quality를 유지하기 위해 필요한 임계치 값보다 큰 영역으로 정의된다. 매크로셀과 피코셀의 수신 파일럿  $E_c/I_t$ 는 다음과 같다.

$$\left(\frac{E_c}{I_t}\right)_m = \frac{\epsilon_m P_{TX-m}^{BS} G_m^{BS} G_m^{MS} L_m(r_m)}{(1-\epsilon_m)P_{TX-m}^{BS} G_m^{BS} G_m^{MS} L_m(r_m) + I_{OC_m} + N_0 W} \quad (4)$$

$$\left(\frac{E_c}{I_t}\right)_p = \frac{\epsilon_p P_{TX-p}^{BS} G_p^{BS} G_p^{MS} L_p(r_p)}{(1-\epsilon_p)P_{TX-p}^{BS} G_p^{BS} G_p^{MS} L_p(r_p) + I_{OC_p} + N_0 W} \quad (5)$$

여기서  $P_{TX-m}^{BS}$  ( $P_{TX-p}^{BS}$ )는 총 송신 전력이고,  $\epsilon_m$  ( $\epsilon_p$ )는 총 송신 전력 중 파일럿 전력에 할당된 비율,  $G_m^{BS}$  ( $G_p^{BS}$ )는 기지국 안테나 이득,  $G_m^{MS}$ 는 이동국 안테나 이득,  $I_{OC_m}$  ( $I_{OC_p}$ )는 다른 셀로부터 수신된 총 간섭 신호 전력,  $N_0 W$ 는 열잡음이다.

소프트 핸드오버 영역은 한 개 이상의 파일럿 전력이 특정 임계치보다 큰 지역으로 정의된다<sup>6)</sup>. 그 결과, 소프트 핸드오버 영역은 둘 또는 그 이상의 셀 영역이 겹쳐져서 나타난다. 인접해있는 두 셀 간의 경계는 두 파일럿 전력이 같은 지역으로 정의된다. 매크로셀과 피코셀 사이의 셀 경계에서 다음과 같은 조건이 만족된다.

$$\epsilon_p P_{TX-p}^{BS} G_p^{BS} G_p^{MS} L_p(r_p) = \epsilon_m P_{TX-m}^{BS} G_m^{BS} G_m^{MS} L_m(r_m) \quad (6)$$

피코셀의 위치와 파일럿 전력이 주어지면 식 (6)으로부터 셀 영역을 구할 수 있다. 그러나 피코셀의 영역을 원하는 대로 설계하기 위해 파일럿 전력과 기지국의 위치를 정해야하는 경우 다음과 같은 절차를 사용할 수 있다. 우선 피코셀 영역이 원 모양의 형태를 갖는다고 가정하면 위치  $D_{center}$ 에 반지름이  $R_p$ 인 피코셀을 설치하기 위해 요구되는 피코셀의 파일럿 전력  $\epsilon_p P_{TX-p}^{BS}$  과 매크로셀과 피코셀 기지국 사이의 거리  $D_{BS}$  는 다음과 같이 구해진다.

$$\epsilon_p P_{TX-p}^{BS} = \frac{R_p^4}{D_{center}^4} \epsilon_m P_{TX-m}^{BS} \frac{G_m^{BS}}{G_p^{BS}} \frac{K_p}{K_m} \frac{R_B^2}{L_{pent}} \quad (7)$$

$$D_{BS} = D_{center} \left(1 - \frac{R_p^2}{D_{center}^2}\right) \quad (8)$$

다음으로 식 (7)에서 얻어진 파일럿 전력의 값을 이용하여 셀영역을 도출한 다음 피코셀의 영역이 원하는 형태의 셀 영역이 되도록 이 값을 수정하여 셀 영역을 설계할 수 있다.

역방향 링크에서, 피코셀의 셀 영역은 트래픽 채널의 요구되는  $E_b/N_t$  값, 이동국의 최대 송신전력, 기지국에서 수신된 간섭 신호 세기 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. 피코셀 기지국에서, 트래픽 채널을 통해 수신된  $E_b/N_t$ 는 다음과 같다.

$$\left(\frac{E_b}{N_t}\right)_p = \frac{P_{TRX-p}^{BS} (W/R_{data})}{\left[ (N_{SC-p} - 1) P_{TRX-p}^{BS} \nu + \alpha_p P_{TRX-p}^{BS} N_m + \beta_p P_{TRX-p}^{BS} N_{OC-p} + N_0 W \right]} \quad (9)$$

여기서  $P_{TRX-p}^{BS}$ 는 트래픽 채널의 수신 전력,  $W/R_{data}$ 는 processing gain,  $\nu$ 는 음성 활성도를 나타낸다. 또  $N_{SC-p}$ 는 같은 피코셀에서의 사용자 수,  $N_{OC-p}$ 는 다른 피코셀에서의 사용자 수,  $N_m$ 는 중첩되어 있는 매크로셀 내의 사용자수이다. 또  $\alpha_p$ ,  $\beta_p$ 는 한 사용자 당 평균 간섭과 신호 전력의 비이다.  $\alpha_p$ 는 마이크로셀로부터의 간섭  $I_m$ 에 관련되고  $\beta_p$ 는 다른 피코셀로부터의 간섭  $I_p$ 에 관련되어 있다.

$$\alpha_p \equiv \frac{E[I_m/P_{TRX-p}^{BS}]}{N_m}, \beta_p \equiv \frac{E[I_p/P_{TRX-p}^{BS}]}{N_{OC-p}} \quad (10)$$

식(9)로부터 피코셀에서 역방향 링크의 최대 전송 손실을 구하면 다음과 같다.

$$L_p(R_{MAX-p}) = \frac{N_0 W \left(\frac{E_b}{N_t}\right)_{REQ-p}}{\left[ (P_{TX}^{MS})_{MAX} G_m^{MS} G_p^{BS} \left\{ \frac{W}{R_{data}} - \left(\frac{E_b}{N_t}\right)_{REQ-p} [(N_{SC-p} - 1)\nu + \alpha_p N_m + \beta_p N_{OC-p}] \right\} \right]} = \frac{N_0 W \left(\frac{E_b}{N_t}\right)_{REQ-p} \left(1 + \frac{1}{X_p}\right)}{(P_{TX}^{MS})_{MAX} G_m^{MS} G_p^{BS} \frac{W}{R_{data}}} \quad (11)$$

여기서  $(E_b/N_t)_{REQ-p}$ 는 기지국에서 요구되는 트래픽 채널의  $E_b/N_t$  값이다.  $X_p$ 는 피코셀 기지국에서의 열잡음대 간섭신호의 비로 다음과 같다.

$$X_p \equiv \frac{N_0 W}{[(N_{SC-p} - 1)\nu + \alpha_p N_m + \beta_p N_{OC-p}] P_{TRX-p}^{BS}} \quad (12)$$

마찬가지 방법으로, 역방향 링크에서 매크로셀의 셀 영역을 구할 수 있다. 매크로셀 기지국에서 수신된 트래픽 채널의  $E_b/N_t$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{E_b}{N_t}\right)_m = \frac{P_{trRX-m}^{BS}(WR_{data})}{\left\{ (N_{SC-m}-1)P_{trRX-m}^{BS} \nu + \alpha_m P_{trRX-m}^{BS} N_{OC-m} + \beta_m P_{trRX-m}^{BS} N_p + N_0 W \right\}} \quad (13)$$

여기서  $\alpha_p$ 와  $\beta_p$ 는 앞과 같은 방법으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_m \equiv \frac{E[I_m/P_{trRX-m}^{BS}]}{N_{OC-m}}, \quad \beta_m \equiv \frac{E[I_p/P_{trRX-m}^{BS}]}{N_p} \quad (14)$$

매크로셀에서는,  $X_m$ 을 기지국에서의 열잡음과 간섭신호의 비로 정의하고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_m \equiv \frac{N_0 W}{[(N_{SC-m}-1) \nu + \alpha_m N_{OC-m} + \beta_m N_p] P_{trRX-m}^{BS}} \quad (15)$$

전형적인  $X_m$  값은 0.1이다<sup>[8]</sup>. 식 (15)로부터 역방향 링크의 최대 전송손실을 구하면 다음과 같다.

$$L_m(R_{MAX-m}) = \frac{N_0 W \left(\frac{E_b}{N_t}\right)_{REQ-A} \left(1 + \frac{1}{X_m}\right)}{\left(P_{TX}^{MS}\right)_{MAX} G_m^{MS} G_m^{BS} \frac{W}{R_{data}}} \quad (16)$$

이러한 방법으로 계산된 역방향 링크의 최대 전송손실로부터 역방향 링크의 셀 영역을 확인할 수 있다.

#### 4. 시스템 용량

시스템 용량이 역방향 링크의 용량에 의해 제한된다고 가정하고 중첩 셀룰라 시스템의 역방향 링크 용량을 도출하였다. 피코셀의 사용자 수  $N_{SC-p}$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{SC-p} = \frac{\frac{WR_{data}}{(E_b/N_0)_{req}(1+X_p)} - \alpha_p N_m - \beta_p N_{OC-p}}{\nu} + 1 \quad (17)$$

매크로셀의 경우, 마찬가지로 매크로셀의 사용자 수  $N_{SC-m}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{SC-m} = \frac{\frac{WR_{data}}{(E_b/N_0)_{req}(1+X_m)} - \alpha_m N_{OC-m} - \beta_m N_p}{\nu} + 1 \quad (18)$$

시스템 부하는 최대 용량과 사용 용량의 비로 정의되며, 매크로셀의 시스템 부하  $Z_m$ 는 다음과 같다.

$$Z_m \equiv \frac{N_{SC-m}}{N_{MAX-SC-m}} = \frac{\frac{WR_{data}}{(E_b/N_0)_{req}(1+X_m)} - \alpha_m N_{OC-m} - \beta_m N_p + \nu}{\frac{WR_{data}}{(E_b/N_0)_{req}} - \alpha_m N_{OC-m} + \nu} \quad (19)$$

앞의 식으로부터  $X_m$ 을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$X_m = \frac{WR_{data}}{(E_b/N_0)_{req}} \times \frac{1}{\left\{ Z_m \left[ \frac{WR_{data}}{(E_b/N_0)_{req}} - \alpha_m N_{OC-m} + \nu \right] + \alpha_m N_{OC-m} + \beta_m N_p - \nu \right\}^{-1}} \quad (20)$$

### III. 분석 결과

성능 분석을 위해 설정된 시스템 모델에 다음의 표 1과 같은 값들이 적용되는 경우를 고려하였다.

표 1. 시스템 파라미터 및 설정값

파라미터	값	파라미터	값
$L_{m0}$	120(dB)	$R_B$	75(m)
$L_{p0}$	38(dB)	$G_m^{BS}$	12(dB)
$L_{pent}$	10(dB)	$G_p^{BS}$	0(dB)
$N_m$	4	$G_m^{MS}$	0(dB)
$N_{p1}$	2	$\epsilon_m P_{TX-m}^{BS}$	42(dBm)
$N_{p2}$	4	$(P_{TX}^{MS})_{MAX}$	200(mW)

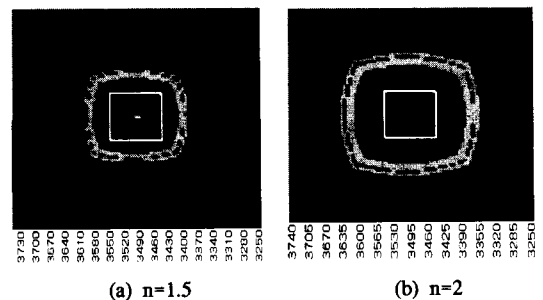


그림 2. 매크로셀과 피코셀의 셀 영역

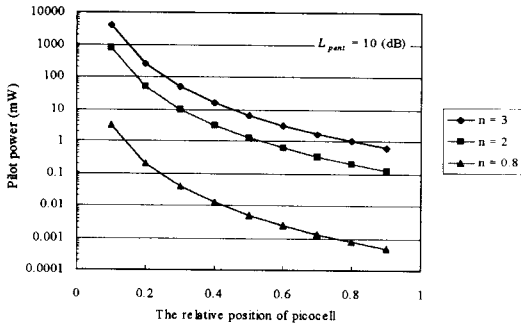


그림 3. 피코셀의 위치와 크기에 따른 피코셀 파일럿 전력 세기

1. 옥내 피코셀의 셀 영역

매크로셀 내에 옥내 피코셀을 설치한 경우 피코셀의 순방향 셀 영역을 분석하였다. 피코셀 기지국의 파일럿 전력을 조정하여 셀 영역을 조절할 수 있었다. 피코셀의 크기  $n$ 은 최대 셀 반경과 건물 폭의 1/2배 길이의 비로 정의하였다. 그림 2는 서로 다른  $n$ 값에 따른 피코셀의 순방향 셀 영역과 소프트 핸드오버 영역을 나타내고 있다. 한 예로 매크로셀의 반지름을 5000(m)로 하고, 건물은 가로, 세로 모두 100(m)인 사각형일 때를 분석해 보았다. 그림 2 (a)는  $n=1.5$ 인 경우이고 (b)는  $n=2$ 인 경우의 셀 영역이다. 매크로셀내의 사용자는 균일하게 분포한다고 가정하였다. 건물 벽면의 투과 손실  $L_{pen}$ 은 10dB로 하였다. 소프트 핸드오버 영역을 마이크로셀 기지국과 매크로셀 기지국으로부터 수신된 파일럿 신호의  $E_c/I_0$ 가 모두 -15dB보다 큰 영역으로 표시하였다. 그림에서 가장 흐리게 표시된 부분이 핸드오버 영역이고, 그 영역 내에 그려진 짙은 선이 셀 경계를 나타낸다. 사각형은 건물 벽면을 나타낸다.

피코셀의 위치와 크기에 따라 정해져야 하는 피코셀 파일럿 송신 전력을 계산하였다.

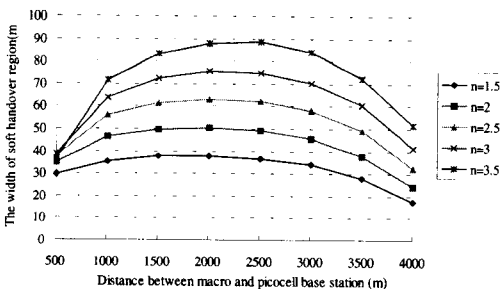


그림 4. 핸드오버 영역의 폭

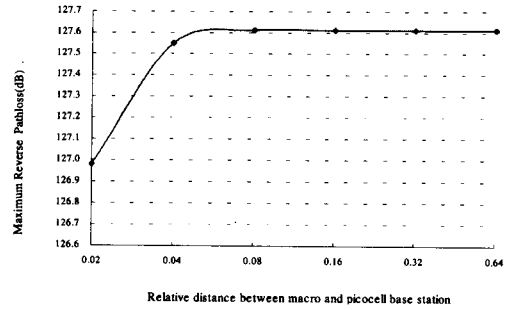


그림 5. 피코셀의 역방향 최대 전송손실

그 결과는 그림3과 같다. 요구되는 파일럿 송신 전력의 세기는 계층셀 기지국 사이의 거리에 따라 달라진다. 피코셀이 매크로셀 기지국으로부터 멀리 떨어질수록 요구되는 피코셀 파일럿 송신 전력의 세기가 감소하게 된다. 이 이유는 피코셀과 매크로셀 사이 거리가 멀수록 매크로셀이 피코셀에 미치는 간섭 전력 세기가 적어지기 때문이다. 또 원하는 피코셀의 크기가 작을수록 요구되는 피코셀 파일럿 송신 전력 세기가 감소함을 알 수 있다. 결과적으로 매크로셀 내부에 임의의 위치에 원하는 크기를 갖는 옥내 피코셀을 설치할 수 있음을 알 수 있다.

계층간 소프트 핸드오버 영역의 크기를 분석하였다. 소프트 핸드오버 영역의 폭은 안쪽과 바깥쪽의 소프트 핸드오버 경계 사이의 거리 중 가장 짧은 길이로 정의하였다. 그 계산 결과는 그림 4와 같다. 피코셀의 위치가 매크로셀의 경계에 가까워짐에 따라, 소프트 핸드오버 영역의 폭이 증가하였다가 감소한다는 사실을 알 수 있다. 그 이유는 두 셀간의 거리가 가까워짐에 따라 매크로셀로부터의 간섭이 증가하기 때문이다.

또 역방향 링크의 최대 전송손실을 분석하였다. 그 계산 결과를 그림 5에 나타내었다. 분석을 위해 Pathloss Margin은 10dB, 수신기의 Noise Figure는 8dB로 하였다. 그림을 보면 피코셀이 매크로셀의 중앙에 다소 떨어진 곳에 위치할 때, 피코셀의 역방향 셀 경계는 그 위치에 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 또 이 경우 매크로셀로부터의 간섭 보다는 주로 열접음이 셀 경계에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

2. 매크로셀의 셀 경계과 용량

매크로셀 역방향의 최대 전송손실은 매크로셀의 시스템 부하와 매크로셀내 피코셀의 수의 영향을

받는다. 피코셀들의 부하는 모두 70%인 경우를 분석하였다. 투과 손실  $L_{pen}$ 은 2dB를 적용하였는데, 이는 건물의 벽면이 모두 유리로 이루어진 피코셀 설치 환경이 상대적으로 열악한 경우를 나타낸다. 매크로셀 역방향 최대 전송손실 계산 결과는 그림 6과 같다. 그림으로부터 매크로셀 내에 설치된 피코셀 수가 많아질수록 허용 가능한 최대 전송손실이 작아진다. 따라서 피코셀이 추가로 설치될 수록 매크로셀의 셀 경계는 작아진다는 사실을 알 수가 있다.

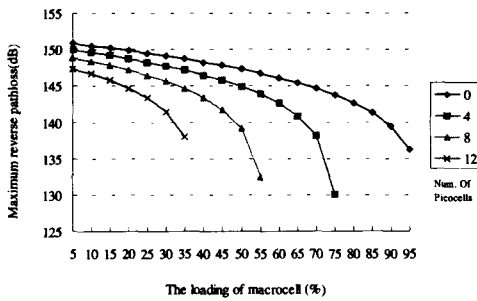


그림 6. 매크로셀의 역방향 최대 전송손실

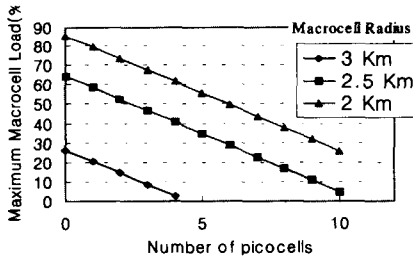


그림 7. 매크로셀의 최대 허용 부하

매크로셀 내의 피코셀 수의 증가에 따른 영향을 분석하기 위해 식 (19)와 식(20)을 이용하여 매크로셀내의 피코셀 수에 따른 매크로셀의 최대 부하를 계산하여 그림 7에 나타 내었다. 그림 6과 7을 통해 매크로셀 내에 옥내 피코셀을 추가함에 따라 그 매크로셀의 셀 영역과 용량은 감소한다는 사실을 알 수 있다. 옥내 피코셀 추가에 따른 영향을 수식적으로 분석한 결과, 매크로셀의 셀 경계를 유지하기 위해서는 매크로셀의 시스템 부하를 줄일 필요가 있다. 그러나 중첩 셀룰라 시스템의 총 용량은 매크로셀 내에 다수의 옥내 피코셀을 추가하여 효과적으로 증가됨을 알 수 있다.

지금까지 이동국들이 매크로셀 내의 균일하게 분포하는 경우의 분석 결과를 보였다. 매크로셀 내의

이동국이 중형으로 분포되어 있는 경우도 분석하였으며 전체적으로 이제까지 보인 균일한 분포를 가진 경우와 거의 같은 결과를 얻을 수 있었다.

#### IV. 결론

이 논문에서는 매크로셀과 옥내 피코셀이 같은 주파수 대역을 사용하는 CDMA 중첩 셀룰라 시스템을 분석하였다. 시스템 변수의 값을 조절하여 매크로셀과 피코셀의 셀 영역, 위치, 핸드오버 영역 그리고 계층셀간의 경계를 바람직한 형태로 만들 수 있음을 알 수 있다.

또 CDMA 중첩 셀룰라의 용량을 분석하였다. 매크로셀 내에 설치된 피코셀들은 매크로셀의 용량을 제한할 수 있다. 그러나 매크로셀 용량의 일부가 옥내 피코셀의 용량으로 대체된다. 따라서 현존하는 매크로셀 내에 많은 피코셀을 추가함에 따라 계층셀 시스템의 전체 용량을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 확인 하였다.

결과적으로 CDMA 셀룰라 시스템에서 매크로셀 내에 같은 주파수 대역을 사용하는 옥내 피코셀을 설치하여 중첩 셀룰라 시스템을 효과적으로 구성할 수 있음을 알 수 있었다. 통화 밀집 지역의 기존 매크로셀 내에 옥내 피코셀을 설치하여 중첩 셀룰라 시스템을 구성하는 것이 셀 영역을 옥내로 늘이면서 동시에 전체 시스템의 용량을 증대시키는 효과적인 방법임을 확인 하였다.

#### 참고 문헌

- [1] J. Shapira, Microcell engineering in CDMA cellular networks, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 4, pp. 817-825, Nov. 1994.
- [2] B. Song and D. Hong, Cell coverage and capacity analysis for the multi-layer CDMA systems, in *Proc. CIC*, Seoul, Korea, Oct. 1997, pp. 399-403.
- [3] D.-I. Jeon, et. al., Considerations on overlay-underlay hierarchical deployment of microcell in DS-CDMA personal communications network, in *Proc. MDMC*, Seoul, Korea, July 1996, pp. 430-434.
- [4] W. C. Y. Lee, *Mobile communications design fundamentals*, 2nd edition, Wiley, New York, 1993.

- [5] S. Y. Seidel and T. S. Rappaport, 914 MHz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, no. 2, pp. 207-217, Feb. 1992.
- [6] ANSI/J-STD-008, *Personal station - base station compatibility requirements for 1.8 to 2.0 Ghz code division multiple access (CDMA) personal communications systems*, TIA, March 1995.
- [7] S. Choi, The architecture of CDMA indoor pico cell installed overlay-underlay hierarchical systems, M.S. thesis, Dept. Electronic Eng., Sogang, Univ., Seoul, Korea, Dec. 1997.
- [8] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, Erlang Capacity of a power controlled CDMA system, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 892-900, Aug. 1993.

최 승 욱(Seungwoog Choi)

1989년 2월 : 서강대학교 전자공학과 졸업

1998년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사

1989년 1월~2000년 8월 : LG정보통신(주)

2000년 9월~현재 : LG전자(주) 책임연구원

<주관심 분야> 이동통신 시스템 성능분석, 3G시스템의 프로토콜 Stack

홍 대 형(Daehyoung Hong)

정회원

한국통신학회논문지 제25권 제2호 p.233 참조