

# 매크로셀과 마이크로셀이 중첩된 W-CDMA 무선가입자망에서 마이크로셀의 용량 산정

정희원 손성찬\*, 노재성\*\*, 김수용\*\*, 조성준\*\*

## Capacity Estimation of Microcell in Macro/Microcell Overlaid W-CDMA WLL System

Sung-Chan Son\*, Jae-Sung Roh\*\*, Su-Yong Kim\*\*, Sung-Joon Cho\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 매크로셀과 마이크로셀이 중첩된 W-CDMA 무선가입자망에서 두 시스템의 공존을 위한 파라미터를 도출하고, 마이크로셀 무선가입자망의 순방향/역방향 링크에서 용량을 산정 하였다. 시스템의 간섭 영향을 분석하는데 있어 용량 산정을 위하여 무선가입자망의 RF 채널 대역폭(W), 서비스 전송 속도(R), 일정한 오율을 달성하기 위해 필요한 신호 전력 대 잡음 전력비( $E_b/N_0$ ), 인접시스템의 사용자수( $N_{w1}$ ,  $N_{w2}$ ), 인접 시스템의 신호 전력 대 간섭 전력비( $\Gamma_{C1B}$ ,  $\Gamma_{C2B}$ ), 마이크로셀과 매크로셀 기지국 사이의 정규화된 거리(d), 마이크로셀과 매크로셀의 반경비( $R_d$ )를 파라미터로 하여 표와 그래프로 나타내었다.

연구 결과, 매크로셀내에서 사용자수의 증가와 신호 전력 대 간섭 전력비의 증가, 마이크로셀 반경의 증가, 매크로셀과 마이크로셀 기지국 사이의 정규화된 거리의 감소에 따라 마이크로셀내에서는 간섭이 증가하여 순방향/역방향 링크에서 용량이 감소함을 확인할 수 있었다. 특히, 셀 반경비가 0.1인 경우에 마이크로셀의 역방향 링크에서 80%이상의 수용 용량을 보장하기 위해서는 매크로셀의 신호 대 간섭 전력비가 0 dB에서는 매크로셀의 사용자수가 24명 이하, 4 dB에서는 8명 이하가 되어야함을 알 수 있었다.

따라서, 본 논문은 매크로셀 W-CDMA 무선가입자망의 간섭 영향하에 다수의 사용자들을 수용하기 위하여 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망을 설계하는데 있어 유용한 자료로 쓰일 것이며, 기지국의 전력 제어를 위한 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

### ABSTRACT

This paper has presented the parameters for the coexistence between two systems in macro/microcell overlaid W-CDMA WLL(Wideband CDMA Wireless Local Loop) and has calculated the capacity of forward/reverse link in

\* 하나로통신 기술개발실

\*\* 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과

論文番號 : 98097-0304

接受日字 : 1998年 3月 4日

microcell. To produce the capacity for analyzing system interference effects, we have shown tables and graphs with the parameters such as RF channel bandwidth of WLL(W), the transmission rate of service message(R), the required signal power to noise power ratio( $E_b/N_0$ ) for achieving acceptable error rate, the user number( $N_{W1}, N_{W2}$ ) of the neighboring system, the signal power to interference power ratio( $\Gamma_{C1B}, \Gamma_{C2B}$ ) of the neighboring system, the normalized distance(d) between microcell and macrocell base-station, and microcell to macrocell radius ratio( $R_d$ ).

From the results, we have convinced that the capacity of microcell diminishes as increasing the user number ( $N_{W2}$ ) in macrocell, increasing the microcell radius, and decreasing the normalized distance(d) between microcell and macrocell base-station. Especially, we have known that when  $R_d = 0.1$ ,  $N_{W2}$  must be below 24 at  $\Gamma_{C2B} = 0$  dB and below 8 at  $\Gamma_{C2B} = 4$  dB for the acceptable capacity ratio to be over 80%.

Therefore, this paper is useful to design microcell W-CDMA WLL for accommodating more user number under the interference effects of macrocell W-CDMA WLL and is expected to be reference in power control of base-station.

## 1. 서 론

무선통신기술의 발전으로 이동 단말기가 급속히 보급되고 무선통신 수요가 급격히 증가할 것이 예상된다. 이를 수용하기 위하여 서비스 제공자는 시스템의 용량을 증가시키기 위하여 다양한 방법을 연구하고 있다. 앞으로 출현하는 단말기는 고속 팩시밀리 전송, 패킷 데이터, 원격 계산, 화상 전화와 같은 새로운 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 이런 진보된 단말기는 144 kbps 이상의 고속 데이터 전송율, 유선과 동일한 음성 품질, 그리고 ISDN 호환성 등을 필요로 한다. 그리고 이런 단말기는 가정, 거리, 운전중, 사무실 등에서 사용될 수 있어야 한다 [1],[2].

현재 무선통신을 위한 주파수 할당에서 무선가입자망, 셀룰러 망, PCS 망과 같이 셀을 이용하는 무선통신망의 경우, 대다수의 지역에서 시스템의 용량은 서비스를 위한 요구에 충분하지 못한 실정으므로 섹터화, 주파수 재사용 등의 기술을 사용하고 있다. W-CDMA 방식은 시스템 용량의 증가와 다양한 기능의 서비스를 제공할 수 있는 방식으로 제안되었으며, W-CDMA 방식은 전체의 대역을 하나의 사용자가 사용하므로써 대량의 정보 전송이 가능하고 무선 채널이 열악한 환경에서도 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그러나 향후 주파수 부족과 다수의 통신 사업자의 출현이 예상되므로 이때 한정된 주파수 자원을 다수의 통신사업자에게 할당하여 동일한 주파수 대역을 공유하면 주파수 부족 문제를 해결할 수 있는 대안이 된다 [3]-[6]. 실제로 우리 나라 W-CDMA 무선가입자

망 주파수와 도서 통신용 주파수가 동일한 주파수 대역을 사용하여 복수 시스템간의 중첩이 예상되고 있다. 또한 '98년 정보통신부에서는 별종통신사업자를 허가하여 대규모 빌딩, 백화점, 터미널 등과 같은 인구밀집지역에 구내통신서비스를 제공할 수 있도록 통신사업구조를 변경하였다. 이러한 환경에서 WLL을 적용할 경우에 추가적인 용량 제공을 위해서 기간통신사업자가 제공하는 매크로셀내에 별종통신사업자의 구내통신서비스를 위한 마이크로셀 형태가 채용될 것으로 예상되고 있다. 이러한 경우 두 시스템간의 셀 영역 및 주파수의 중첩이 발생하게 되어 각 시스템의 용량이 감소될 것으로 예측된다 [7],[8]. 그러므로 시스템이 요구하는 수용 용량을 유지하며 W-CDMA 무선망 사이의 공존을 위한 연구가 필요하다. 기존에 발표된 참고 문헌 [6]에서는 FD-CDMA 방식을 적용한 다중 매크로셀과 단일 마이크로셀의 중첩 환경에서 역방향 링크의 공존 용량 연구가 이루어졌으나, 본 논문에서는 국내 WLL 규격(RF 대역폭, 서비스 전송속도)을 적용한 단일 매크로셀과 단일 마이크로셀의 중첩 환경에서 순방향/역방향 링크의 공존 용량 산정을 수행하였다.

본 논문에서는 동일한 주파수와 셀 영역을 공유하는 무선가입자망이 2개 존재하고 마이크로셀이 매크로셀의 영역에 포함되는 환경을 가정하여 무선가입자망 사이의 공존을 위한 연구를 수행한다. 공존을 위한 주요한 파라미터로는 마이크로셀과 매크로셀 환경의 전파 특성, W-CDMA 무선가입자망의 RF 채널 대역폭, 서비스 전송 속도, 필요 신호 전력 대 잡음 전

력비, 공존을 위한 인접 시스템의 신호 전력 대 간섭 전력비, 인접 시스템의 사용자수, 마이크로셀과 매크로셀 기지국사이의 정규화된 거리, 마이크로셀과 매크로셀 반경비 등을 고려하고 마이크로셀 무선가입자망 1과 매크로셀 무선가입자망 2가 중첩된 경우, 마이크로셀의 순방향/역방향 링크에서 W-CDMA 무선가입자망의 용량을 산출한다.

## II. 단일 W-CDMA 무선가입자망 시스템

본 절에서는 단일 W-CDMA 무선가입자망 시스템의 용량을 산정한다.

### 2.1 단일 W-CDMA 무선가입자망을 위한 해석

본 논문에서는 단일 W-CDMA 무선가입자망 시스템을 바탕으로, 하나의 무선 가입자망 시스템이 단일 셀에서 얻을 수 있는 기지국 당 가입자 용량을 산정하기 위해 그림 1과 같은 해석 모델을 가정한다 [9].

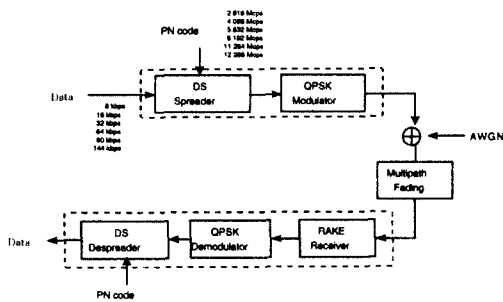


그림 1. 해석 모델  
Fig. 1 Analysis model.

그림 1에서 보는 바와 같이 송신단의 데이터 열은 DS-Spreader 단에서 PN 코드에 의해 스펙트럼이 확산되고 QPSK Modulator 단에서 QPSK 변조된 후, 다중화된 광대역 신호는 다중 경로 페이딩 채널로 송신되며 채널상에서 AWGN과 주파수 선택성 페이딩에 의해 열화를 받게 된다. 수신단에서는 먼저 RAKE 수신기를 통해 채널상에서 광대역 신호에 발생하는 주파수 선택성 페이딩을 보상한 후, PN 코드로 확산된 스펙트럼을 역확산시켜 QPSK 복조단에서 데이터 열을 복원한다.

기지국당 가입자 수용 용량을 구하기 위하여 무선 가입자망 시스템의 오율을 먼저 구하고, 이 결과치를 이용하여 기지국의 가입자 용량을 산정한다. 무선가입자망에서 사용되는 변조방식은 QPSK 방식으로, AWGN 환경에서의 오율식은 다음과 같다 [10].

$$P_{er}(\gamma) = Q(\sqrt{2\gamma}) \quad (1)$$

여기서,  $\gamma$ 는 비트 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비 ( $E_b/N_0$ )이고  $Q(x)$ 는 다음과 같다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (2)$$

W-CDMA 시스템에서는 정보 신호의 스펙트럼을 PN 코드를 이용하여 확산해서 광대역 신호로 전송한다. 전송되는 광대역 신호의 대역폭(W)은 채널의 동기 대역폭보다 훨씬 넓어지므로 주파수 선택성 페이딩의 영향을 받게 된다. 이것을 보상하는 기법으로는 RAKE 수신기가 많이 사용되는데, RAKE 수신기는 주파수 선택성 페이딩 환경에서 주파수 다이버시티 효과를 가져다 준다. 그림 2는 RAKE 수신기의 블록 다이어그램을 나타낸다.

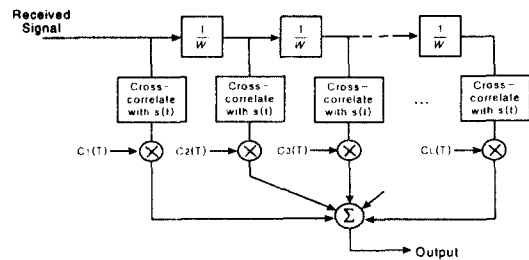


그림 2. RAKE 수신기의 블록 다이어그램  
Fig. 2 Block diagram of RAKE receiver.

다중 경로 페이딩 채널은 탭 지연선 (tapped delay line)을 이용하여 모델링하였고, RAKE 수신기를 통해 수신된 광대역 신호는  $1/W$  시간마다 지연시켜 탭을 통해 샘플을 취한 다음, 각 탭에 가중치를 두어서 수신된 신호를 합치게 된다. RAKE 수신기는 각각의 상관기에서 출력되는 신호의 지연된 성분들을 모두 합

함으로써 수신단의 복조기에서 신호 대 잡음 전력비를 높이는 역할을 한다.

L개의 가지를 가진 RAKE 수신기를 통하여 수신된 QPSK 신호의 신호 대 잡음 전력비( $\gamma$ )는 다음과 같다.

$$\gamma = \sum_{k=1}^L \gamma_k \quad (3)$$

여기서, L은 RAKE 수신기의 가지수,  $\gamma_k$ 는 k번째 가지에서의 신호 대 잡음 전력비이다. 식 (3)에서 구한  $\gamma$ 는 RAKE 수신기를 사용함으로써 얻어지는 신호 대 잡음 전력비인데,  $\gamma$ 는 각 가지에서의  $\gamma_k$ 들의 분포에 따라 다음과 같은 확률 밀도 함수를 따르게 된다.

$$P_{\text{RAKE}}(\gamma) = \sum_{k=1}^L \frac{\pi_k}{\gamma_k} e^{-\gamma/\gamma_k}, \quad \gamma \geq 0 \quad (4)$$

단,  $\pi_k = \prod_{i \neq k} \frac{\gamma_k}{\gamma_k - \gamma_i}$ ,

$\overline{\gamma_k}$  : k번째 가지에서의 평균 신호 대 잡음 전력비,  
 $\gamma$  : 순시 신호 대 잡음 전력비.

$\overline{\gamma_k}$  값은 MIP (Multipath Intensity Profile) 모델을 사용하면 다음과 같은 지수 함수로 나타낼 수 있다 [9].

$$\overline{\gamma_k} = \Gamma \cdot e^{-(k-1)\beta} \quad (5)$$

여기서,  $\Gamma$ 는 첫 번째 가지에서의 평균 신호 대 잡음 전력비,  $\beta$ 는 MIP 모델의 신호세기 감쇄지수를 의미한다.

RAKE 수신기를 사용했을 경우의 오율식은 식(1)과 식(4)를 이용하여 다음과 같이 얻는다.

$$P_e = \int_0^{\infty} P_{\text{eG}}(\gamma) \cdot P_{\text{RAKE}}(\gamma) d\gamma \quad (6)$$

### 2.2 단일 W-CDMA 무선가입자망 용량 산정

본 절에서는 광대역 채널환경 특성 ( $\beta = 0.1$ )에서 필요한 신호 전력 대 잡음 전력비, 채널 대역폭, PN chip rate, 서비스의 전송속도를 고려한 단일 마이크로

셀에서의 용량 N를 구한다. 역방향 링크에서 W-CDMA를 이용하는 무선가입자망에서의 용량은 다음식에 의해 산출된다 [11].

$$N = \frac{W}{R} \cdot \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{\text{Req}}} \quad (7)$$

여기서, W는 W-CDMA 무선가입자망의 대역폭, R은 서비스의 전송속도,  $(E_b/N_o)_{\text{Req}}$ 는 오율  $10^{-3}$ 을 얻기 위해 필요한 신호 전력 대 잡음 전력비를 의미한다.

### III. 중첩된 마이크로셀의 순방향/역방향 링크에서 W-CDMA 무선가입자망의 용량

본 절에서는 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망 1과 매크로셀 W-CDMA 무선가입자망 2가 중첩된 경우에 마이크로셀내의 순방향/역방향 링크에서 W-CDMA 무선가입자망 1의 용량을 구한다.

#### 3.1 중첩된 W-CDMA 무선가입자망의 모델

그림 3은 W-CDMA 무선가입자망이 매크로셀과 마이크로셀로 중첩된 경우를 나타낸다. 중첩된 무선가입자망의 모델에서 매크로셀은 반경이  $R_{C2}$ 이고 6각형이며 3 섹터로 나누어져 있다고 가정한다. 본 논문에서는 참고문헌 [7]에서 제시한 중첩된 셀 모델을 적용하며 매크로셀의 내부 영역에는 단일 마이크로셀만을 고려하되 반경이  $R_{C1}$ 이고 원형이라고 가정한다. 그리고 마이크로셀은 매크로셀의 기지국으로부터 거리가 D만큼 떨어진 곳에 위치한다고 가정한다. 또한 매크로셀과 마이크로셀 무선가입자망 사용자들은 셀 내부에서 랜덤하게 분포한다고 가정하고 매크로셀의 안테나 높이는 마이크로셀의 안테나 높이보다 높다고 가정하며, 매크로셀내에서의 전파감쇄는  $R^{-2}$ 에 비례하는 모델을 사용한다.

#### 3.2 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망 1의 순방향 링크

먼저, 마이크로셀 기지국에서 단말기까지의 순방향 링크의 용량을 구한다.

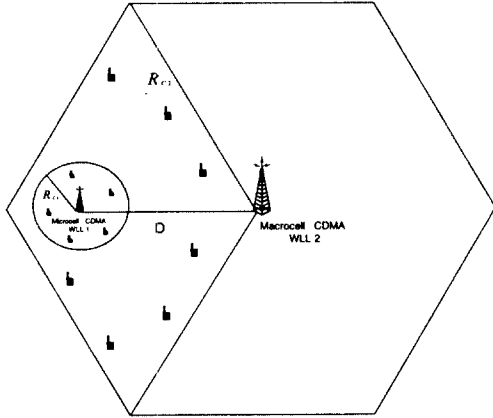


그림 3. 중첩된 매크로셀과 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망의 구조

Fig. 3 Structure of overlaid macro/microcell W-CDMA WLL.

### 3.2.1 마이크로셀 W-CDMA 단말기의 신호 전력 대 간섭 전력비

마이크로셀내에 있는 단말기가 마이크로셀의 경계에 위치했을 때, 마이크로셀 기지국으로부터 수신된 전력은 다음과 같다 [7].

$$Q_{C1C1}^M = \frac{\alpha P_{C1B}}{R_{C1}^2} \quad (8)$$

여기서,  $P_{C1B}$ 는 마이크로셀 기지국의 송신전력,  $\alpha$ 는 전파 상수,  $R_{C1}$ 은 마이크로셀의 반경이다. 이 때, 매크로셀 기지국으로부터 마이크로셀 단말기에 수신된 전력은 다음과 같다.

$$Q_{C1C2}^M = \frac{b_{C2} N_{W2} P_{C2B}}{(D - R_{C1})^4} \quad (9)$$

여기서,  $P_{C2B}$ 는 매크로셀 기지국의 송신전력,  $N_{W2}$ 는 매크로셀 무선가입자망의 동시 사용자수,  $D$ 는 매크로셀과 마이크로셀 기지국 사이의 거리,  $b_{C2}$ 는 전파상수  $\alpha \cdot R_{C2}^2$ 을 나타내며,  $R_{C2}$ 는 매크로셀의 반경이다.

결과적으로 마이크로셀 단말기의 신호 전력 대 간섭 전력비는 다음과 같다.

$$\Gamma_{C1M} \cong \frac{G_P Q_{C1C1}^M}{N_{W1} Q_{C1C1}^M + Q_{C1C2}^M} \quad (10)$$

여기서,  $N_{W1}$ 은 마이크로셀 무선가입자망의 동시 사용자수를 나타내며,  $G_P$ 는 처리이득을 의미한다.

### 3.2.2 매크로셀 W-CDMA 단말기의 신호 전력 대 간섭 전력비

매크로셀 단말기가 매크로셀 기지국으로부터 가장 멀리 떨어진 마이크로셀 경계에 위치했을 때, 매크로셀 기지국으로부터 수신된 전력은 다음과 같다.

$$Q_{C2C2}^M = \frac{b_{C2} P_{C2B}}{(D + R_{C1})^4} \quad (11)$$

이 때, 마이크로셀 기지국으로부터 매크로셀 단말기에 수신된 전력은 다음과 같다.

$$Q_{C2C1}^M = \frac{b_{C1} N_{W1} P_{C1B}}{R_{C1}^4} \quad (12)$$

여기서,  $b_{C1}$ 은 전파상수  $\alpha \cdot R_{C1}^2$ 을 나타낸다.

결과적으로 매크로셀 단말기의 신호 전력 대 간섭 전력비는 다음과 같다.

$$\Gamma_{C2M} = \frac{G_P Q_{C2C2}^M}{N_{W2} Q_{C2C2}^M + Q_{C2C1}^M} \quad (13)$$

여기서,  $N_{W2}$ 는 매크로셀내 무선가입자망의 동시 사용자수를 나타내며,  $G_P$ 는 처리이득을 의미한다.

### 3.2.3 마이크로셀 순방향 링크의 용량 산출

식 (10)을 이용하면 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망 1에서의 순방향 링크 용량은 다음과 같다.

$$N_{W1} = N - \frac{Q_{C1C2}^M}{Q_{C1C1}^M} \quad (14)$$

여기서,  $N = \frac{G_P}{\Gamma_{C1M}}$ 는 다른 시스템으로부터 간섭이 없을 경우에 얻을 수 있는 최대 용량의 식 (7)에 해당한다.

이 때, 식 (11)를 식 (9)에 대입하면  $Q_{C1C2}^M$ 은 다음과 같다.

$$Q_{C1C2}^M = N_{w2} Q_{C2C2}^M \left( \frac{D + R_{C1}}{D - R_{C1}} \right)^4 \quad (15)$$

또한, 식 (12), 식 (8)를 식 (13)에 대입하면  $Q_{C1C1}^M$ 은 다음과 같다.

$$Q_{C1C1}^M = \frac{Q_{C2C2}^M [G_p - \Gamma_{C2M} N_{w2}]}{\Gamma_{C2M} N_{w1}} \quad (16)$$

식 (15)와  $\Gamma_{C2M}$ 를 구하기 위한 식 (16)을 용량식 (14)에 대입하면, 매크로셀과 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망이 중첩된 경우, 마이크로셀 순방향 링크에서 W-CDMA 무선가입자망의 용량은 다음과 같다.

$$N_{w1} = \frac{N}{1 + \frac{N_{w2} \Gamma_{C2M}}{(G_p - \Gamma_{C2M} N_{w2})} \left( \frac{D + R_{C1}}{D - R_{C1}} \right)^4} \quad (17)$$

이 때, 식 (17)를 마이크로셀과 매크로셀 기지국 사이의 정규화된 거리( $d = D/R_{C2}$ )와 셀 반경비( $R_d = R_{C1}/R_{C2}$ )로 나타내면 최종식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_{w1} = \frac{N}{1 + \frac{N_{w2} \Gamma_{C2M}}{(G_p - \Gamma_{C2M} N_{w2})} \left( \frac{d + R_d}{d - R_d} \right)^4} \quad (18)$$

### 3.3 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망 1의 역방향 링크

다음으로, 마이크로셀내의 단말기에서 기지국까지의 역방향 링크의 용량을 구한다.

#### 3.3.1 마이크로셀 W-CDMA 기지국의 신호 전력 대 간섭 전력비

본 논문에서 가입자 분포는 현실적으로 지역별로 상이하여 정형화된 가입자 분포를 정하기 어렵기 때문에, 각 단말의 송신 전력은 셀 경계에 위치한 마이크로셀 단말기에서 최대 전력으로 송신한 경우로 가정한다. 이 경우 마이크로셀 기지국에 수신된 경우의 전력은 다음과 같다 [7].

$$Q_{C1C1}^B = \frac{\alpha P_{CIM}}{R_{C1}^2} \quad (19)$$

여기서,  $P_{CIM}$ 은 마이크로셀 단말기의 송신전력이다. 이 때, 마이크로셀 단말기로부터의 모든 신호는 완전한 전력 제어를 고려하여 동일한 전력,  $Q_{C1C1}^B = Q_{\alpha C1}$ 으로 마이크로셀 기지국에 수신된다. 이 때, 마이크로셀 단말기의 최대 송신전력은 식 (19)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{CIM} = \frac{Q_{\alpha C1} R_{C1}^2}{\alpha} \quad (20)$$

또한, 매크로셀 기지국으로부터 거리  $D$  만큼 떨어진 마이크로셀 기지국에서 수신된 매크로셀 단말기의 전체 평균 전력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q_{C1C2}^B &= \left( \frac{3N_{w2}}{\pi R_{C2}^2} \right) P_{C2M} b_{C1} \int_{R_{C1}}^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{rd\theta dr}{r^4} \\ &= \frac{3N_{w2} P_{C2M} b_{C1}}{R_{C2}^2 R_{C1}^2} \end{aligned} \quad (21)$$

결과적으로 마이크로셀 기지국의 신호 전력 대 간섭 전력비는 다음과 같다.

$$I_{C1B} = \frac{G_p Q_{\alpha C1}}{N_{w1} Q_{\alpha C1} + Q_{C1C2}^B} \quad (22)$$

여기서,  $N_{w1}$ 은 마이크로셀 무선가입자망의 동시 사용자수를 나타내며,  $G_p$ 는 처리이득을 의미한다.

#### 3.3.2 매크로셀 W-CDMA 기지국의 신호 전력 대 간섭 전력비

마이크로셀 단말기의 신호 전력이 매크로셀 기지국에 어떠한 영향을 주는지 분석하기 위하여 일양하게 분포된  $N_{w1}$ 개의 CDMA 단말기를 가정한다. 마이크로셀 단말기의 전체 평균 전력은 다음과 같다.

$$P_{CIM} = \int_0^{R_{C1}} \int_0^{2\pi} \frac{N_{w1} Q_{\alpha C1} r^2}{\pi R_{C1}^2 \alpha} rd\theta dr = \frac{N_{w1} Q_{\alpha C1} R_{C1}^2}{2\alpha} \quad (23)$$

해석을 간단하게 하기 위하여  $D \gg R_{C1}$ 라고 가정

하고 매크로셀 기지국에 수신된 마이크로셀 단말기의 전체 전력은 식 (19)에서 구한 방식과 같이 전력이 거리에 따라 감소하면서 영향을 주므로 다음과 같다.

$$Q_{C2C1}^B \cong \frac{\overline{P_{C1M}} b_{C2}}{D^4} \quad (24)$$

매크로셀 경계에 위치한 매크로셀 단말기에서 송신한 전력이 매크로셀 기지국에 수신된 경우의 전력은 다음과 같다.

$$Q_{C2C2}^B = \frac{\alpha P_{C2M}}{R_{C2}^2} \quad (25)$$

여기서,  $P_{C2M}$ 은 매크로셀 단말기의 송신전력이다. 완전한 전력 제어를 가정하면 매크로셀 단말기로부터의 모든 신호는 동일한 전력,  $Q_{C2C2}^B = Q_{\alpha C2}$ 으로 매크로셀 기지국에 수신된다. 이 때, 매크로셀 단말기의 최대 송신전력은 다음과 같다.

$$P_{C2M} = \frac{Q_{\alpha C2} R_{C2}^2}{\alpha} \quad (26)$$

결과적으로 매크로셀 기지국의 신호 전력 대 간섭 전력비는 다음과 같다.

$$\Gamma_{C2B} = \frac{G_p Q_{\alpha C2}}{N_{W2} Q_{\alpha C2} + Q_{C2C1}^B} \quad (27)$$

여기서,  $N_{W2}$ 는 매크로셀 무선가입자망의 동시 사용자 수를 나타내며,  $G_p$ 는 처리이득을 의미한다.

### 3.3.3 마이크로셀 역방향 링크의 용량 산출

식 (22)를 이용하면 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망 1에서의 역방향 링크 용량은 다음과 같다.

$$N_{W1} = N - \frac{Q_{C1C2}^B}{Q_{\alpha C1}} \quad (28)$$

여기서,  $N = \frac{G_p}{\Gamma_{C1B}}$ 는 다른 시스템으로부터 간섭이 없을 경우에 얻을 수 있는 최대 용량의 식 (7)에 해당

한다.

이 때, 식 (26)을 식 (21)에 대입하면  $Q_{C1C2}^B$ 는 다음과 같다.

$$Q_{C1C2}^B = 3 N_{W2} Q_{\alpha C2} \quad (29)$$

또한, 식 (24)를 식 (27)에 대입하면  $Q_{\alpha C1}$ 은 다음과 같다.

$$Q_{\alpha C1} = \frac{2 D^4 Q_{\alpha C2} [G_p - \Gamma_{C2B} N_{W2}]}{\Gamma_{C2B} N_{W1} R_{C1}^2 R_{C2}^2} \quad (30)$$

식 (29)와  $\Gamma_{C2B}$ 를 구하기 위한 식 (30)을 용량식 (28)에 대입하면, 매크로셀과 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망이 중첩된 경우, 마이크로셀 역방향 링크에서 W-CDMA 무선가입자망의 용량은 다음과 같다.

$$N_{W1} = \frac{N}{1 + \frac{3 N_{W2} \Gamma_{C2B} R_{C2}^2 R_{C1}^2}{2 D^4 (G_p - \Gamma_{C2B} N_{W2})}} \quad (31)$$

이 때, 식 (31)를 마이크로셀과 매크로셀 기지국 사이의 정규화된 거리 ( $d = D/R_{C2}$ )와 셀 반경비 ( $R_d = R_{C1}/R_{C2}$ )로 나타내면 최종식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_{W1} = \frac{N}{1 + \frac{3 N_{W2} \Gamma_{C2B} R_d^2}{2 d^4 (G_p - \Gamma_{C2B} N_{W2})}} \quad (32)$$

## IV. 수치 계산 및 검토

본 논문에서는 W-CDMA 방식을 이용하는 2개의 무선가입자망 사이의 공존을 위한 파라미터로 무선가입자망의 RF 채널 대역폭, 서비스 전송 속도, 일정 오류를 달성하기 위해 필요한  $E_b/N_0$ , 공존을 위한 인접 시스템의 신호 전력 대 간섭 전력비, 인접 시스템의 사용자수, 마이크로셀과 매크로셀 기지국의 정규화된 거리( $d = D/R_{C2}$ ), 마이크로셀과 매크로셀의 반경비( $R_d = R_{C1}/R_{C2}$ ) 등을 선정하여 무선가입자망 1의 순방향/역방향 링크의 용량을 구하여 무선가입자망 1이

단독으로 존재하는 경우와 비교, 분석하였다.

W-CDMA 방식을 이용하는 무선가입자망의 기본적인 용량은 현재 개발 중인 W-CDMA 무선가입자망 시스템의 개발 규격에 따라서 RF 채널 대역폭을 10 MHz로, 8 kbps의 음성부호화기를 사용하는 경우에는 음성의 서비스 전송속도를 9.6 kbps로 가정하였다. 그리고 오율  $10^{-3}$ 을 달성하기 위해 필요한  $E_b/N_0$ 는 무선채널에서 신호세기 감쇄지수가 0.1, RAKE 수신기의 가지수가 4인 경우에 해당하는 4.68 dB로 하였다[9].

그림 4는 셀 반경비가 0.1일 때, 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비가 0 dB인 경우에 무선가입자망 2의 사용자수에 따른 무선가입자망 1의 순방향 링크 용량을 비교한 것이다. 셀 반경비 0.1은 마이크로셀 환경이 매크로셀 환경의 1/10에 해당하는 작은 셀을 의미한다. 그럼으로부터 무선가입자망 2의 가입자수 증가는 무선가입자망 1에서 간섭으로 작용하여 무선가입자망 1의 용량은 감소된다. 그리고 마이크로셀과 매크로셀사이의 거리가 멀어짐에 따라서 간섭의 영향이 적어지므로 무선가입자망 1의 용량이 증가하는 것을 알 수 있다.

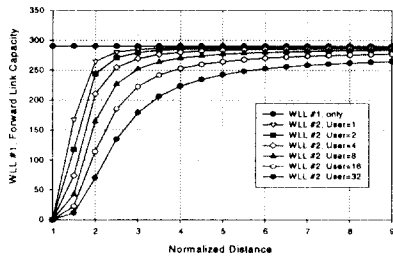


그림 4. 무선가입자망 2의 사용자 수에 따른 무선가입자망 1의 순방향 링크 용량 (무선가입자망 2의 CIR = 0 dB, 셀 반경비 = 0.1)

Fig. 4 Forward link capacity of WLL #1 according to WLL #2 user number (WLL #2 CIR = 0 dB, Cell radius ratio = 0.1).

그림 5는 그림 4의 환경에서 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비를 4 dB로 증가시킨 경우이다. 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비가 증가됨에 따라 무선가입자망 1의 용량은 그림 4에서 얻은 결과에 비해 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 6과 7은 셀 반경비가 0.1일 때, 무선가입자망

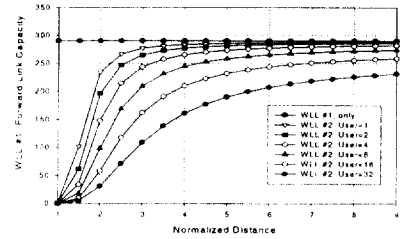


그림 5. 무선가입자망 2의 사용자 수에 따른 무선가입자망 1의 순방향 링크 용량 (무선가입자망 2의 CIR = 4 dB, 셀 반경비 = 0.1)

Fig. 5 Forward link capacity of WLL #1 according to WLL #2 user number (WLL #2 CIR = 4 dB, Cell radius ratio = 0.1).

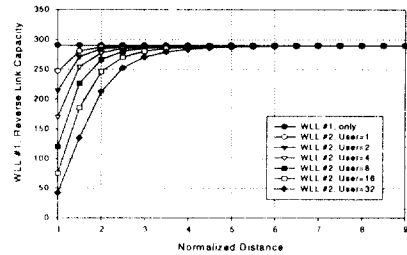


그림 6. 무선가입자망 2의 사용자 수에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량 (무선가입자망 2의 CIR = 0 dB, 셀 반경비 = 0.1)

Fig. 6 Reverse link capacity of WLL #1 according to WLL #2 user number (WLL #2 CIR = 0 dB, Cell radius ratio = 0.1).

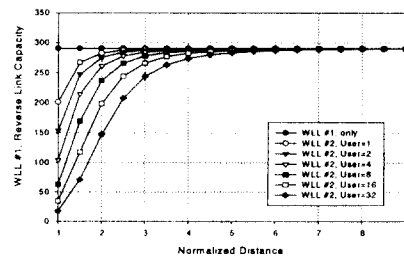


그림 7. 무선가입자망 2의 사용자 수에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량 (무선가입자망 2의 CIR = 4 dB, 셀 반경비 = 0.1)

Fig. 7 Reverse link capacity of WLL #1 according to WLL #2 user number (WLL #2 CIR = 4 dB, Cell radius ratio = 0.1).



2의 신호 전력 대 간섭 전력비가 각각 0 dB, 4 dB인 경우에 무선가입자망 2의 사용자수에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크의 용량을 비교한 것이다. 순방향 링크의 용량과 같이 무선가입자망 2의 사용자수가 증가함에 따라 무선가입자망 1의 용량은 감소되는 것을 알 수 있다. 또한, 마이크로셀과 매크로셀 기지국 사이의 거리가 멀어짐에 따라 무선가입자망 1의 용량은 순방향 링크의 용량보다 빠르게 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 8은 셀 반경비를 0.1, 무선가입자망 2의 동시 사용자수를 32명으로 가정한 경우에 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량을 비교한 것이다. 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비의 증가는 무선가입자망 1에서는 간섭의 증가로 작용하게 되므로 무선가입자망 1의 용량은 감소됨을 알 수 있다. 이 경우도 마이크로셀과 매크로셀사이의 거리가 멀어짐에 따라 무선가입자망 1의 용량은 증가함을 알 수 있다.

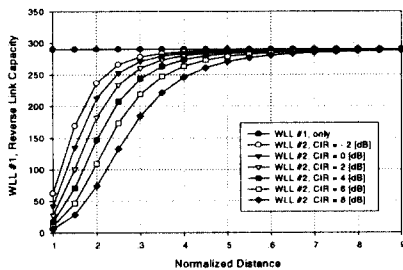


그림 8. 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량 (셀 반경비 = 0.1, 무선가입자망 2의 사용자 수 = 32)

Fig. 8 Reverse link capacity of WLL #1 according to WLL #2 CIR (Cell radius ratio = 0.1, WLL #2 user number = 32).

그림 9는 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비가 0 dB, 무선가입자망 2의 사용자수가 32명인 경우에, 마이크로셀과 매크로셀의 거리와 셀 반경비에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량을 비교한 것이다. 신호 전력 대 간섭 전력비 0 dB는 신호 전력과 간섭 전력이 동일한 경우로서 채널 환경이 열악한 상태이다. 마이크로셀과 매크로셀의 셀 반경비가 0.5에서 0.1로 작아짐에 따라서 무선가입자망 1이

단독으로 존재하는 경우의 용량으로 빠르게 접근함을 알 수 있다.

그림 10은 무선가입자망 2의 사용자수가 32명, 정규화된 거리가 0.4인 경우에 마이크로셀과 매크로셀의 셀 반경비의 변화와 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량을 비교한 것이다. 그림으로부터 마이크로셀의 크기가 커질수록, 또 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비가 증가할수록 무선가입자망 1의 용량은 감소됨을 알 수 있다.

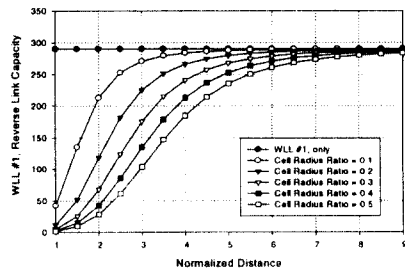


그림 9. 무선가입자망의 셀 반경비에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량 (무선가입자망 2의 CIR = 0 dB, 무선가입자망 2의 사용자 수 = 32)

Fig. 9 Reverse link capacity of WLL #1 according to Cell radius ratio (WLL #2 CIR = 0 dB, WLL #2 user number = 32).

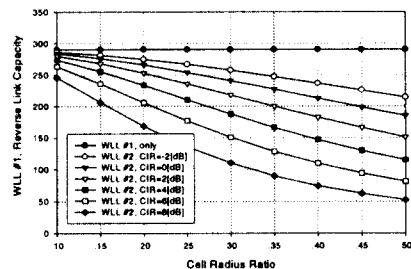


그림 10. 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량 (일반화된 거리 = 0.4, 무선가입자망 2의 사용자 수 = 32)

Fig. 10 Reverse link capacity of WLL #1 according to WLL #2 CIR (Normalized distance = 0.4, WLL #2 user number = 32).

그림 11은 마이크로셀과 매크로셀 기지국의 정규화된 거리가 0.4, 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비가 0 dB인 경우에 무선가입자망 2의 사용자수와 셀 반경비에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량을 비교한 것이다. 마이크로셀과 매크로셀의 셀 반경비가 0.1에서 0.5로 커짐에 따라 즉, 마이크로셀의 반경이 커짐에 따라서 무선가입자망 1의 용량은 감소됨을 알 수 있다. 그리고 무선가입자망 2의 사용자 수가 증가하면 무선가입자망 1의 용량은 더욱 감소됨을 알 수 있다.

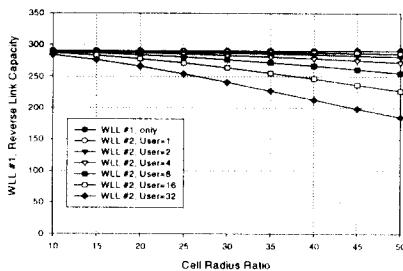


그림 11. 무선가입자망 2의 사용자 수에 따른 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량 (일반화된 거리 = 0.4, WLL 2 CIR = 0 dB)

Fig. 11 Reverse link capacity of WLL #1 according to WLL #2 user number (Normalized distance = 0.4, WLL #2 CIR = 0 dB).

표 1과 표 2는 두 기지국 사이의 정규화된 거리가 0.2, 마이크로셀과 매크로셀의 반경비가 0.1인 경우에 마이크로셀의 순방향/역방향 링크에서 공존시 수용 용량을 비교한 것이다. 분석결과, 무선가입자망 2의 신호 전력 대 간섭 전력비와 무선가입자망 2의 사용자 수가 증가할수록, 무선가입자망 1의 순방향/역방향 링크의 용량은 감소함을 알 수 있다. 특히, 역방향 링크 보다는 순방향 링크에서 보다 빠르게 감소함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 매크로셀과 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망이 동일한 주파수 대역에서 공존하기 위한 파라미터를 도출하고, 마이크로셀 무선가입자망의

표 1. 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망 1의 순방향 링크 용량 (d = D/Rc2 = 0.2)

Table 1. Forward link capacity of microcell W-CDMA WLL #1.

셀 반경비	무선가입자망 2의 CIR dB	무선가입자망 2의 사용자수 Nw2	무선가입자망 1의 사용자수 Nw1	공존시 수용 용량률[%]
0.1	0	None	290.4	100.0
		1	265.2	91.3
		2	244.0	84.0
		4	210.2	72.3
		8	164.4	56.4
		16	114.0	39.2
		32	69.9	24.0
	4	None	290.4	100.0
		1	234.4	80.7
		2	196.3	67.5
		4	147.8	50.8
		8	98.3	33.8
		16	58.0	20.0
		32	30.8	10.6

표 2. 마이크로셀 W-CDMA 무선가입자망 1의 역방향 링크 용량 (d = D/Rc2 = 0.2)

Table 2. Reverse link capacity of microcell W-CDMA WLL #1.

셀 반경비	무선가입자망 2의 CIR dB	무선가입자망 2의 사용자수 Nw2	무선가입자망 1의 사용자수 Nw1	공존시 수용 용량률[%]
0.1	0	None	290.4	100.0
		1	287.3	98.9
		2	284.2	97.8
		4	278.2	95.7
		8	266.8	91.8
		16	246.3	84.8
		32	212.7	73.2
	4	None	290.4	100.0
		1	282.6	97.3
		2	275.2	94.7
		4	261.2	89.9
		8	236.9	81.5
		16	198.5	68.3
		32	147.0	50.6

순방향/역방향 링크에서 용량을 산출하였다. 용량 산출을 위해서 무선가입자망의 RF 채널 대역폭, 서비스 전송 속도, 일정 오율을 달성하기 위해 필요한 신호 전력 대 잡음 전력비, 인접 시스템의 신호 전력 대 간섭 전력비, 인접 시스템의 사용자수, 마이크로셀과 매크로셀 기지국 사이의 거리, 마이크로셀과 매크로셀의 반경비 등을 파라미터로 하여 시스템 간섭에 따른 가입자 수용 용량을 수치계산하고 이를 분석하였다.

분석 결과, 매크로셀내에서 사용자수의 증가와 신호 전력 대 간섭 전력비의 증가, 마이크로셀 반경의 증가, 매크로셀과 마이크로셀 기지국 사이의 정규화된 거리의 감소에 따라 마이크로셀내에서는 간섭이 증가하여 순방향/역방향 링크에서 용량이 감소함을 표와 그래프로부터 확인할 수 있었으며, 역방향 링크 보다는 순방향 링크에서 보다 빠르게 감소함을 알 수 있었다. 이 때, 마이크로셀 반경이 매크로셀 반경의 1/10에 해당하는 셀 반경비가 0.1인 경우, 마이크로셀의 역방향 링크에서 수용 용량을 80% 이상을 보장하기 위해서 매크로셀의 신호 대 간섭 전력비가 0 dB에서는 매크로셀의 사용자수가 24명 이하, 4 dB에서는 8명 이하가 되어야함을 알 수 있었다.

따라서, 본 논문은 매크로셀의 간섭 영향하에 다수의 사용자들을 수용하기 위하여 마이크로셀을 설계하는데 있어 유용한 자료로 쓰일 것이며, 공존 파라미터 값에 따라 수용 용량을 분석함으로써 기지국의 전력 제어를 위한 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. V. K. Garg and E. L. Sneed, "Digital wireless local loop system," *IEEE Comm. Mag.*, pp. 112-115, Oct. 1996.
2. K. S. Gilhousen, et al., "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
3. D. L. Schiling, G. R. Lomp, and J. Garodnick, "Broadband-CDMA overlay," in *Proc. IEEE 43rd VTS Conf.*, Secaucus, NJ, pp. 452-455, May 1993.
4. L. B. Milstein et al., "On the feasibility of a CDMA overlay for personal communications networks," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, pp. 655-667, May 1992.
5. H. H. Hmimy, and S. C. Gupta, "Overlay of cellular CDMA on AMPS forward and reverse link analysis," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 45, no. 1, pp. 51-56, Feb. 1996.
6. K. Takeo, "Uplink Capacity of Macro/Spot-Microcellular Systems in Frequency Division CDMA," *IEICE Trans. Fundamentals.*, vol. E80-A, no. 7, pp. 1218-1225, July 1997.
7. D. M. Grieco, "The capacity achievable with a broadband CDMA microcell underlay to an existing cellular macrosystem," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, pp. 744-750, May 1994.
8. Chih-Lin. I, L. J. Greenstein, and R. D. Gitlin, "A microcell/macrocell cellular architecture for low and high mobility wireless users," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, pp. 855-891, Aug. 1993.
9. 손성찬, 노재성, 조용범, 조성준, "다중 경로 페이딩 채널에서 무선 가입자망의 용량 산정," 한국통신학회 논문지, pp. 303-311, 1998. 2.
10. J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1995.
11. V. K. Garg and J. E. Wilkes, *Wireless and Personal Communication Systems*, Prentice-Hall, 1996.



손 성 찬(Sung Chan Son) 정회원  
1973년 3월~1979년 2월: 한국항공대학 항공통신공학과 졸업(공학사)  
1990년 3월~1992년 8월: 한양대학교 산업대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

1979년 5월~1980년 10월: 한국전자통신(주)  
1980년 10월~1985년 10월: 동아건설산업(주)  
1985년 10월~1998년 6월: (주)데이콤 무선가입자망팀  
1998년 6월~현재: (주)하나로통신 기술개발실  
※주관심분야: 무선 통신, 이동 통신, 디지털 통신



조 성 준(Sung Joon Cho) 종신회원  
1965년 3월~1969년 2월: 한국항공대학 항공통신공학과 졸업(공학사)  
1973년 3월~1975년 2월: 한양대학교 대학원 졸업(공학석사)  
1977년 4월~1981년 3월: 오사카대학 대학원 졸업(공학박사)

1969년 4월~1972년 7월: 해군기술장교  
1972년 8월~현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수  
※주관심분야: 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학



노 재 성(Jae Sung Roh) 정회원  
1986년 3월~1990년 2월: 한국항공대학 항공통신정보공학과 졸업(공학사)  
1990년 3월~1992년 2월: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업(공학석사)

1992년 1월~1997년 5월: (주)한화정보통신 무선가입자망 연구 그룹 주임 연구원  
1997년 8월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사과정  
※주관심분야: IMT-2000 시스템 성능 분석, 이동 전파 전파, 부호화 변조 방식



김 수 용(Su Yong Kim) 학생회원  
1991년 3월~1997년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업(공학사)  
1997년 3월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 재학중

※주관심분야: CDMA 셀룰라 시스템, 무선가입자망 시스템, IMT-2000 시스템