

# 1.9 GHz 대역/14.4 kbps CDMA 시스템의 역방향 링크에서 핸드오프 유형별 얼랑용량과 셀 커버리지

정희원 권영수\*, 김남\*\*

## Erlang Capacity and Cell Coverage Based on Handoff Techniques in the Reverse Link of a CDMA System of 14.4 kbps/1.9 GHz Band

Young-Soo Kwon\*, Nam Kim\*\* *Regular Members*

### 요 약

1.9 GHz/14.4 kbps CDMA 시스템의 역방향 링크에서 핸드오프방식 유형별 얼랑용량과 링크마진을 구하는 차단 확률을 각각 유도하였다. 현실적인 셀 최대용량으로 얼랑용량과 링크동작의 신뢰성을 위한 마진을 동일한 시스템 파라미터로 계산하고, COST-231 모델을 적용한 전파손실을 구해 여러 지역에서 셀 커버리지와의 관계를 새로운 관점에서 제안하여 분석하였다. 소프트핸드오프를 하는 상황에서  $E_b/N_o=5$  dB에서 차단확률을 5%에서 2%로 낮출 경우 마진은 0.88 dB 더 높아야하고 용량은 2 얼랑 감소와 도시, 교외, 개방지역의 셀 커버리지가 0.12 km, 0.25 km, 1 km씩 줄어드는 정도에서 신뢰성과 서비스품질을 높일 수 있었다. 차단확률 5%인 경우  $E_b/N_o=7$  dB에서 5 dB로 낮춘다면 똑같은 2.8 dB 마진으로 9 얼랑 증가와 도시지역에서 0.2 km가 늘어났다. 이때 단일 셀 경우에 비해 용량은 10 얼랑 이상 줄어들어도 1.31 dB의 마진을 줄일 수 있어 각각의 지역에서 0.17 km, 0.3 km, 1 km씩 커버리지가 증가하였다. 또한 하드핸드오프에 비하면 2.16 dB의 마진을 더 줄일 수 있어 10 얼랑 증가와 0.22 km, 0.5 km, 2 km씩 늘어나는 소프트핸드오프 이득이 함께 발생하였다.

### ABSTRACT

We derive the outage probabilities for the Erlang capacity and link margin based on handoffs in the reverse link of a CDMA system of 14.4 kbps/1.9 GHz band, calculate them with the same parameters, and then with the maximum realizable Erlang capacity analyze newly the cell coverage in different areas by the COST-231 model. If it decreases from 5% to 2% in case of  $E_b/N_o=5$  dB under a soft handoff, the result shows a very reliable link with additional increment of 0.88 dB in the margin and a high quality of service within the coverage decrease of 0.12 km, 0.25 km, and 1 km in a city, suburban, and open areas respectively on the decrease of 2 Erlang in the capacity. When the  $E_b/N_o$  decreases from 7 dB to 5 dB within the outage probability of 5%, it shows the increase of 9 Erlang and of 0.2 km in a city on the same margin of 2.8 dB. Then, comparing it with a single cell, it shows the decrease of more than 10 Erlang in the capacity, but the enlargement of 0.17 km, 0.3 km, and 1 km in them on the margin decrease of 1.31 dB, also, with a hard handoff, the soft handoff gain of the increase of 10 Erlang and of 0.22 km, 0.5 km, and 2 km on the decrease of 2.16 dB..

\* 주성대학 디지털정보통신공학과(yskwon@jsc.ac.kr),  
 논문번호: 020362-0822, 접수일자: 2002년 8월 22일

\*\* 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부, 컴퓨터정보통신연구소

## I. 서론

디지털 CDMA방식을 채택한 이동 무선통신은 IS-95A, B 모델의 서비스와 더불어 IMT-2000 으로 진행되면서 급속도로 발전하고 있다. CDMA 시스템에서는 새로운 호 발생과 핸드오프 호에 의한 사용자로 인해 이동국 분포가 일정하지 않고 사용자 수가 증가할 수록 간섭이 증가하여 품질을 떨어뜨리고, 모든 사용자는 동일 무선주파수를 공유하기 때문에 차단확률을 증가시킨다. 만일 서비스 제공자가 높은 간섭과 어느 정도 임계값에서 서비스 질을 허용한다면 연 차단(soft blocking)으로 차단확률을 구할 수 있다. 일량용량은 채널 트래픽과 다중 셀의 간섭에 대한 확률분포를 고려한 차단확률에 의해 동시에 발생하는 평균 사용자수를 계산하는 것이다. 역방향 링크에서 전력제어를 하지 않는 경우는 전파손실의 변동으로 인한 SIR(Signal to Interference Ratio) 표준편차 값이 대체로 8 dB정도이지만, 완벽한 전력제어를 하는 경우는 0 dB이며, 현재는 모든 이동국이 전송하는 트래픽 채널의 전력레벨에서 수신된  $E_b/N_o$ 의 변동폭을 줄이려고 전력제어를 하지만 대체로 2.5 dB의 전력제어 오차가 발생한다<sup>[1],[2]</sup>. 불완전 전력제어 경우에 페이딩(fading) 또는 전파음영(shadowing)에 의해 발생하는 신호레벨의 변동과 다중 셀 간섭에서도 신뢰성을 위해 핸드오프방식에 따라 링크마진이 필요하며 시스템 설계시  $E_b/N_o$ 에 마진을 더해 적용한다<sup>[3]</sup>.

셀 커버리지를 계산할 때 여러 전파모델을 이용해 전파손실을 구한다. 우수한 전파모델은 거리외에 사용 주파수와 범위, 안테나높이, 지형지물의 밀집도 등을 함수로 하는 모델이 필요하다. 대체로 자유공간과 지형물에 의한 전파손실이 함께 있는 중소도시, 교외 및 개방지역에서 중심주파수가 1.5 GHz까지는 CCIR/ Hata 모델을 적용하지만, PCS, WCDMA 시스템에서는 2 GHz까지 적용 가능한 COST-231 모델이 적합하다<sup>[1],[2]</sup>.

통화중일 때 이동국이 인접 셀로 이동하면서 양호한 무선채널을 계속 유지시켜주기 위해 기지국간에 통화를 넘겨주는 핸드오프방식에서 유형별로 셀 용량을 계산해서 전파손실에 의한 셀 커버리지를 구할 때 셀 트래픽과 보다 더 현실적인 상호관계를 분석할 필요가 있다.

지금까지 사용자수와 셀 커버리지를 관점에서 시스템 설계기준으로 셀 최대용량을 일반적 또는

이상적인 조건에서 구해 적용하였다<sup>[3],[4]</sup>. 이는 불완전 전력제어, 페이딩, 간섭 등의 영향이 반영된 현실적인 조건에는 미흡해, 본 연구에서는 이런 문제점을 개선하고자 일량용량을 계산해서 셀 커버리지와의 관계를 새롭게 제안하여 분석한다. 데이터 속도가 14.4 kbps이고 중심주파수가 1.9 GHz인 CDMA시스템을 근간으로 불완전 전력제어된 역방향 링크에서 핸드오프 유형별 다중 셀의 간섭을 고려해 간섭보정 계수를 구하고, 일량용량과 링크마진을 구하기 위한 각각의 차단확률을 유도해서 시스템 파라미터와 차단확률이 똑같은 조건에서 시뮬레이션 결과를 통해 일량용량과 셀 커버리지 관계를 분석하였다. 여기서 채널 트래픽과 다중 셀의 간섭 영향을 고려한 차단확률에 의해 현실적인 채널 수를 구할 수 있는 일량용량을 계산해서 셀 최대용량으로 적용하였고, 셀 커버리지 계산에서 차단확률에 근거한 마진을 계산해서 적용함으로써 신뢰성을 높일 것이다. 이렇게 구한 파라미터로 COST-231 전파모델에 의해 전파손실을 구하고, 도시, 교외, 개방지역에서 핸드오프 유형별 일량용량 계산에 따라 셀 커버리지와의 관계를 보다 더 현실적인 관점에서 분석하였다.

## II. 핸드오프 유형과 차단확률에 따른 일량용량 및 링크마진

### 2.1 다중 셀 간섭 보정계수

CDMA 시스템에서 사용자수는 다른 셀에서 간섭의 영향을 받기 때문에 다중 셀의 간섭 양에 의해 셀 사용자수가 결정된다고 볼 수 있으며 단일 셀인 경우에 비해 셀 용량이  $1/(1+\zeta)$ 로 줄어든다. 따라서 여기서 다중 셀 간섭보정 계수로  $\zeta$ 를 다음과 같이 정의할 수 있다<sup>[3],[4]</sup>.

$$\zeta = \frac{I_{oc}}{I_{sc}} \tag{1}$$

여기서  $I_{oc}$ 는 다른 셀에 속한 이동체들이 통화채널에 주는 전체 간섭이고  $I_{sc}$ 는 동일 셀에 속한 이동체들로 인한 통화채널의 간섭을 나타낸다. 전력제어가 완벽하게되어 전파음영을 무시하고 모두 동일한 셀 반경을 가진 ring-n 셀에서 다중 셀 간섭보정 계수 $\zeta$ 는 다음과 같다<sup>[4]</sup>.

$$\zeta_1 = 12 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} (2L \ln(\frac{L}{L-1}) - \frac{4L^2 - 6L + 1}{2(L-1)^2}) \tag{2}$$

여기서  $L = 4(n^2 + i^2 - ni)$ 이며  $n$ 은 ring- $n$  수이고  $i$ 는 링(ring)의 일련번호이다.

식 (2)는 이상적인 셀 환경인 경우이고, 전파음영이 로그노멀 분포를 하고 있는 현실적인 상황인 두 개 셀간에 핸드오프와 소프트핸드오프 하는 경우에 다중 셀 간섭보정 계수 $\zeta$ 를 다음과 같이 각각 나타낼 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$\zeta_2 = e^{b^2(\beta\sigma)^2} \left[ \frac{2}{3\sqrt{3}} \int_{S_0} \int R_1^\mu(x, y) dA(x, y) \right] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \zeta_3 = & \frac{2}{3\sqrt{3}} e^{(\beta\sigma)^2/2} \left[ \int_{S_0} \int R_1^\mu Q \left( \beta\sigma + \frac{M_1 - M_0}{\sigma} \right) dA \right. \\ & + \int_{S_0} \int R_1^\mu Q \left( \frac{\beta\sigma}{2} + \frac{M_1 - M_2}{\sigma} \right) dA \\ & \left. + \int_{S_0} \int R_2^\mu Q \left( \frac{\beta\sigma}{2} + \frac{M_2 - M_1}{\sigma} \right) dA \right] \quad (4) \end{aligned}$$

여기서  $b=1/\sqrt{2}$  값을 갖고,  $\beta$ 와  $\sigma$ 는  $\ln 10/10$ 와 전파음영 표준편차이고  $\mu$ 는 전파손실계수를 나타내며,  $\zeta$ 가 0 인 경우에 핸드오프를 하지 않는 단일 셀을 의미한다.  $r_i(x, y)$ 은 인접한 기지국과 거리로 두 셀간 거리 비는  $R_i(x, y) = r_i(x, y)/r_0(x, y)$ 이고, 각 사용자에 대한 감쇠와 Q 함수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M_i(x, y) = 10\mu \log_{10} r_i(x, y) \quad (5)$$

$$Q(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\tau}^{\infty} e^{-t^2/2} dt \quad (6)$$

### 2.2 열량용량

차단확률을 구할 때 중요한 차이가 있는데, 이항 분포와 로그노멀 근사에 의해 차단기준으로 미리 정한 에러율에 필요한  $SIR_{req}$ 을 사용해서 그 값 이하인 경우를 실패(failure)로 간주하고 여기서 셀 용량을 구하게 된다. 반면에 포아슨 분포와 가우시안 근사에 의해 차단기준으로 최대 허용간섭 값  $\eta$ 를 사용하여 간섭 때문에 시스템 과부하가 걸릴 때 이를 차단(blocking)으로 간주하고 열량용량을 구한다<sup>[5], [6], [7]</sup>. 역방향 링크모델은 첫째 사용자 수  $N$ 은 평균이  $\lambda/\mu$ 인 포아슨 분포를 이루고, 둘째 음성 활동률로 인해 각 사용자는 송신하는 확률이  $\nu$ 이고 휴식하는 확률이  $1-\nu$ 이며, 셋째 수신된 SIR 값  $\epsilon (= E_b/I_o)$ 는 불완전 전력제어로 인해 각 사용자는 서로 다른 값을 갖는 분포를 이루고 있다고 볼 수 있다. 동일한 셀과 다른 셀에 속한 모든 이동체의 간

섭으로 차단확률을 구할 때  $N, \nu, \epsilon$ 가 모두 랜덤변수이므로 하나의 랜덤변수  $Z$ 로 표현하고, 이를 참고문헌 [1]에서 사용자수  $N$  대신에 다중 셀인 경우  $N' = N(1+\zeta)$ 로 바꾸어 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z = \sum_{i=1}^{N' = N(1+\zeta)} \nu_i \epsilon_i + \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N' = N(1+\zeta)} \nu_{ij} \epsilon_{ij} \quad (7)$$

여기서  $K$ 는 다른 셀의 모든 섹터수의 합이며,  $\zeta$ 는 다중 셀 간섭보정 계수이다. 첫째 항은 동일 셀의 이동국 간섭이며, 두 번째 항은 다른 셀의 이동국들의 간섭을 나타낸다. 셀 용량을 구하기 위한 차단확률을 구할 때 일반적으로 사용자 수가 작은 경우에는 로그노멀 분포를 사용하지만, 반면에 사용자 수가 많은 경우에는 대체로 가우시안 분포를 사용해서 구하는 것이 타당하다. 랜덤변수  $Z$ 에 대해서 가우시안 분포를 적용한 경우 차단확률은 다음과 같다<sup>[5], [6]</sup>.

$$P_{out} = \Pr[Z > Z_o] = Q \left[ \frac{Z_o - E[Z]}{\sqrt{Var(Z)}} \right] \quad (8)$$

여기서 식 (7)을 이용해 랜덤변수  $Z$ 의 평균과 제곱평균을 구할 때 다중 셀 간섭을 고려해야하므로 이 값은  $(1+\zeta)$ 배씩 증가되며 참고문헌 [6]에서는  $\exp(\beta m)$ 을 포함해 중간 값으로 사용하였지만, 본고에서는 상수이기 때문에 참고문헌 [5], [8]에서처럼 나누어 계산하고  $Z$  대신에  $Z'$ 로 바꾸어서 이 값을 유도하고, 불완전 전력제어와 다중 셀에서 간섭 영향을 고려해 핸드오프 유형별 다중 셀 간섭보정 계수를 구한 식 (2)와 (3)을 식 (8)에 적용시켜 다시 정리하면 다음과 같다.

$$P_{out} = Q \left[ \frac{Z_o - \rho(\lambda/\mu)(1+\zeta) \exp[(\beta\sigma)^2/2]}{\sqrt{\rho(\lambda/\mu)(1+\zeta) \exp(\beta\sigma)^2}} \right] \quad (9)$$

여기서  $\beta$ 는  $\ln 10/10$ 이고  $\sigma$ 는 전력제어 오차에 의한 SIR 표준편차를 나타낸다.  $m$ 은  $E_b/I_o$ 의 평균이고  $WR$ 을 처리아득이라 할 때  $Z_o$ 는 최대허용가능 간섭  $\eta (= N_o/I_o)$ 를 기준으로 한 차단 임계값이고 다음과 같다.

$$Z_o = \frac{WR}{e^{(\beta m)}} (1 - \eta) = \frac{WR}{(E_b/I_o)_{med}} (1 - \eta) \quad (10)$$

열량용량 계산은 차단확률과 셀의 섹터 이득  $\delta$ 를 고려하여 3 섹터로 구성된 셀의 열량용량은 다음과

값고,  $M$ 은 주어진 차단확률  $P_{out}$  에 대한 섹터당 열량용량을 나타내며 본 연구에서는 이를 적용한다.

$$\lambda/\mu_{sectors} = (\lambda/\mu)_{P_{out}} \cdot \delta \quad (11)$$

### 2.3 링크마진

먼저 핸드오프를 하지 않는 단일 셀에서 차단확률에 의한 링크마진은 셀 영역내에서 성공적인 동작을 해야 하지만, 이를 만족하지 못하고 수신된 SIR 값이 필요 SIR<sub>req</sub>보다 낮을 경우 차단이 발생하게 된다. 따라서, 이 경우에 평균이 0 인 한 개의 가우시안 랜덤변수  $x$ 가 존재하며, SIR의 중간 값과 필요 SIR<sub>req</sub>의 차를 마진으로 정해시<sup>[3]</sup> 이 때 차단확률을 가우시안 분포에 근거해 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= \Pr[(E_b/N_{o_{med}}(r_c) - \alpha x) < E_b/N_{o_{req}}] \\ &= \Pr[x > (E_b/N_{o_{med}}(r_c) - E_b/N_{o_{req}})/\sigma] \\ &= P_A[x > M_{dB}(r_c)/\sigma] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{M_{dB}(R_c)/\sigma}^{\infty} e^{-x^2/2} dx \\ &= Q(M_{dB}(r_c)/\sigma) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서  $Q(x)$ 는 식 (6)과 같고,  $\sigma$ 는 불완전 전력 제어로 인한 SIR 표준편차를 나타내며,  $E_b/N_{o_{req}}$ 은 필요한 SIR 값이고,  $E_b/N_{o_{med}}(r_c)$ 은 셀 커버리지가 정확히 셀 반경인  $d_{max} = r_c$ 에서 수신한 SIR 값이다. 따라서, 링크 신뢰성을 위해  $E_b/N_o$ 에  $M_{dB}$ 를 더 적용해야 하며, 미리 정한 차단확률과 식 (12)를 이용하여 마진에 대해 다시 표현할 수 있다.

$$M_{dB}(r_c) = E_b/N_{o_{med}}(r_c) - E_b/N_{o_{req}} = \sigma Q^{-1}(P_{out}) \quad (13)$$

이 값은 이동체가 셀 반경을 넘어 기다라도 신뢰성 유지 때문에 단일 셀인 경우에 비해 핸드오프 방식에 따라 이 값은 조정될 필요가 있다.

마찬가지 방법으로 두개 셀간 핸드오프 경우를 고려하면, 이동체가 이동하여 셀 경계지점으로 도달했을 때 셀 중앙에 위치한 이동체에서 소프트 핸드오프 중 두 개의 기지국까지의 각각 거리가  $r$  인 경우 평균이 0 인  $x, y$  두개의 가우시안 SIR 랜덤변수  $X = \bar{X} - \sigma_x = SIR_{med}(r) - \sigma$  와  $Y = \bar{Y} - \sigma_y = SIR_{med}(r) - \sigma$ 로 나타낼 수 있고, 불완전 전력제어로 인한 SIR 표준편차는  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ 로 상관 관계계수는  $k = E[(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})]/\sigma^2$ 이며, 여기서 결합분포

함수로 차단확률을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_A[(x > M_{dB}(r)/\sigma) \cup (y > M_{dB}(r)/\sigma)] \\ &= \frac{1}{2\pi(1-k^2)} \int_{M_{dB}(r)/\sigma}^{\infty} dx \int_{M_{dB}(r)/\sigma}^{\infty} e^{-\frac{x^2 - 2kxy + y^2}{2(1-k^2)}} dy \end{aligned} \quad (14)$$

여기서  $k$ 는 -0.5 ~ 0.5 값을 갖고,  $k=0$  이면 서로 독립관계이고, 부의 값( $k=-0.5$ ) 이면 두 셀 중간개는 링크동작이 나쁜 상태이고, 정의 값( $k=0.5$ ) 이 되면 두개 셀 동시에 동일한 상태를 의미한다. 따라서  $k=0.5$ 로 하여 두개 셀간 소프트핸드오프 경우에 주어진 차단확률에 대해 마진을 계산할 수 있다

### III. 전파모델에 의한 셀 커버리지

전파손실을 구할 때 Hata 전파모델은 셀이 비교적 넓은 시스템에는 적합하지만 PCS, WCDMA 시스템 같은 곳에는 적합하지 않기 때문에 이를 개선하여 중심 주파수가 2 GHz까지 적용이 가능한 COST-231 모델을 적용해 링크거리에 대한 전파손실을 다음과 같이 표현할 수 있다<sup>[1],[9],[10]</sup>.

$$PL = PL_1 + K_1 \log_{10} d_{km} \quad (15)$$

여기서  $PL_1$ 은 전파손실로  $K_2 - K_3$ 이고,  $K_1$ ,  $K_2$ 는 전파손실에 미치는 여러 요인을 포함하는 손실계수를 나타내고,  $K_3$ 는 교외, 개방지역에 대한 소도시공식의 보정계수로  $K_{31}$ ,  $K_{32}$ ,  $K_{33}$ 로 분리해 각각 다음과 같다.

$$K_1 = 10\mu = 44.9 - 6.55 \log_{10} h_b \quad (16)$$

$$K_2 = 46.3 + 33.9 \log_{10} f_{MHz} - 13.82 \log_{10} h_b - A_{h_m} \quad (17)$$

$$K_{31} = 0 \text{ dB 또는 } 3 \text{ dB} \quad : \text{ 도시지역}$$

$$K_{32} = 2[\log_{10}(f_{MHz}/26)]^2 + 5.4 : \text{ 교외지역}$$

$$K_{33} = 4.78(\log_{10} f_{MHz})^2 - 18.33 \log_{10} f_{MHz} + 40.94 \quad : \text{ 개방지역} \quad (18)$$

중소도시에서 안테나 높이 이득 보정계수는  $A_{h_m} = (1.1 \log_{10} f_{MHz} - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f_{MHz} - 0.8)$ 이며,  $h_b$ 과  $h_m$ 은 기지국과 이동국 안테나 높이를 나타내고,  $f_{MHz}$ 는 중심주파수이다.

셀 경계지점인  $d_{km} = R_{km}$ 에서 최대 전파손실이

발생한다고 볼 수 있고, 불완전 전력제어된 역방향 링크에서 기지국 및 이동국 설치에서 기계적 구성에 의한 전파손실 및 전력예산 관점에서 셀 부하 ( $N/N_{max}$ : 사용자 수와 셀 최대용량 비<sup>[9]</sup>)를 함수로 최대 전파손실은 다음과 같다.

$$PL_{max} (dBm) = P_{R_{no-loss}} - P_s$$

$$= P_{R_{no-loss}} - [P_{user} + M_{dB} - 10 \log_{10}(1 - \frac{N}{N_{max}})] \quad (19)$$

여기서  $P_s$ 는 기지국 수신기에서 필요한 최소전력이고, 링크동작과 셀 커버리지 계산에서 신뢰성을 위해 핸드오프 방식과 차단확률에 의해 식 (13), (14)에서 구한 마진  $M_{dB}$ 을 새롭게 적용하기 위해서  $P_{user}$ 값에 더 적용하였다. 완벽한 전력제어를 하고 배경잡음을 무시한 이상적인 경우에는 식 (19)에서  $M_{dB}$ 가 0으로 이때 역방향 링크에서 최대 전파손실을 나타낸다. 전파손실이 없는 경우 기지국에서 수신되는 이동체의 송신전력과 한 명의 사용자에 대한 최소 필요 수신전력은 각각 다음과 같다<sup>[9]</sup>.

$$P_{R_{no-loss}} = P_m + G_m - L_m - L_p - L_b + G_c - L_c \quad (20)$$

$$P_{user} = E_b/N_{o_{req}} + N_o + W - PG \quad (21)$$

여기서 PG는 처리이득으로 대역폭에 대한 데이터 속도이고,  $N_oW$ 는 기지국 수신기의 잡음지수가 5 dB일 때 1 FA 대역폭 내 열 잡음전력으로 PCS에서 수신감도는 규격에는 -119 dBm이지만 이보다 더 좋은 특성을 적용하였다. 식 (20)는 역방향 링크에서 이동체의 송신전력을 0.2 W (23 dBm)로 출력하고, 기지국 선로손실은 0.06 dB/m의 손실이 있는 7/8 인치 케이블 30 m정도로 구성할 때 2 dB로 계산하였고, 기지국 및 이동국 안테나 이득 등 다른 파라미터는 대체로 많이 사용하는 값들로 선택 적용해서 표 1에 표시하였다.

셀 커버리지와 전파손실 관계를 위해서 셀 경계 지점을  $d_{km} = R_{km}$ 로 바꾸어 최대 전파손실을 링크거리의 함수로 식 (19)를 이용해 식 (15)를 최대 링크거리  $R_{km}$ 에 대해 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$R_{km} = \exp[\beta(PL_{max} - PL_1)]/\mu \quad (22)$$

여기서  $\beta$ 는  $\ln 10/10$ 이고,  $\mu$ 는 전파손실 계수로 식 (16)을 10으로 나눈 값이다.

표 1. CDMA 역방향 링크에서 전력 및 전파손실 파라미터

전파 파라미터	심볼	값
이동체 송신 전력	$P_m$	0.2 W/23 dBm
이동체 선로 손실	$L_m$	0 dB
이동체 안테나 이득	$G_m$	2 dBi
이동체 안테나 방향손실	$L_p$	3 dB
이동체 안테나 높이	$h_m$	2 m
기지국 안테나 이득	$G_c$	14 dBi
기지국 선로 손실	$L_c$	2 dB
기지국에서 잡음전력	$N_oW$	-108 dBm
기지국 안테나 높이	$h_b$	30 m
빌딩 투과 허용치	$L_b$	10 dB
처리이득	PG	19.3 dB
중심 주파수	$f_{MHz}$	1.9 GHz

#### IV. 결과고찰

##### 4.1. 링크마진과 열량용량에 대한 결과고찰

열량용량과 링크마진을 구하는 차단확률에 대한 식 (11), (13), (14)에 동일한 값을 적용하고, 시스템 파라미터로 표 2의 값을 똑같이 적용한 가운데 불완전 전력제어된 경우(표준편차 2.5 dB)에 핸드오프 방식과  $(E_b/N_o)_{req}$  값 변화에 따른 마진과 열량용량을 계산한 수치결과를 표 3과 4에 각각 나타내었다.

셀 커버리지를 계산할 때 현실적인 셀 최대용량으로 여기서 구한 열량용량을 적용하고, 신뢰성을 위해 마진을 적용해서 사용자수와 셀 커버리지와의 관계를 새로운 관점에서 분석한다. 이때 핸드오프 유형별, 즉 핸드오프가 필요없는 단일 셀에서 열량용량과 링크마진 및 셀 커버리지를 기준으로 하드 핸드오프와 소프트 핸드오프 경우에 대해 서로 비교한다.

표 2. 열량용량과 링크마진 계산시 시뮬레이션 파라미터

파라미터	기호	값
대역 폭	W	1.228 MHz
데이터 속도	R	14.4 kbps
전파손실계수	$\mu$	4
SIR 평균	$E_b/N_o$	5 - 7 dB
SIR 표준편차	$\sigma$	2.5 dB
음성 활동율	$\rho$	0.4
다중 셀 간섭보정 계수	$\zeta$	hard handoff 2.38 soft handoff 0.77
전파음영 표준편차	$\sigma'$	8 dB
차단 임계치	$\eta$	0.1

표 3. 차단확률에 따른 링크마진과 이득

차단확률	단일셀 경우 마진	하드 핸드 오프시 마진/이득	소프트 핸드오프시 마진/이득	핸드오프 간 비교
$P_{out}$	$M_{sc}$	$M_{hh}/G_{hh}$	$M_{sh}/G_{sh}$	이득
0.02	5.13	5.98/-0.85	3.68/1.45	2.3
0.05	4.11	4.96/-0.85	2.8/1.31	2.16
0.1	3.2	4.05/-0.85	1.92/1.28	2.13

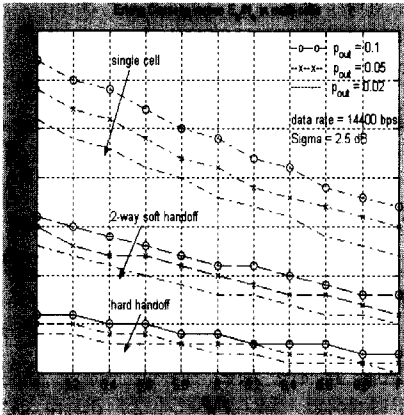


그림 1. 차단확률에 따른  $E_b/N_0$  대 열량용량

그림 1과 표 4는 핸드오프방식과 차단확률에 따른  $E_b/N_0$  대 열량용량을 나타내었다. 데이터 속도는 14.4 kbps이고 차단확률이 0.02일 때  $E_b/N_0=5$  dB에서 6 dB, 7 dB로 높인다면 핸드오프를 하지 않는 경우 즉 단일 셀일 때는 31 열량에서 23 열량, 17 열량으로 감소하며, 하드 핸드오프할 때는 9 열량에서 7 열량, 6 열량으로 감소하였고, 소프트 핸드오프할 때는 18 열량에서 13 열량, 10 열량으로 감소하였다. 따라서 소프트 핸드오프하는 경우가 하드핸드오프에 비해서 열량용량은 9 열량, 6 열량, 4 열량씩 증가하고 링크마진은 2.3 dB만큼 줄일 수 있어 소프트 핸드오프 이득이 발생한다는 것을 알 수 있었다.  $E_b/N_0=5$  dB에서 차단확률을 0.02에서 0.05, 0.1로 높일 때 소프트 핸드오프하는 경우 3 열량, 6 열량씩 증가하며 마진도 0.88 dB, 1.76 dB 씩 줄일 수 있고, 하드 핸드오프하는 경우에는 1 열량, 2 열량씩 증가하며 마진도 1.02 dB, 1.93 dB씩 줄일 수 있었다. 차단확률을 5 %에서 2 %로 낮추면 마진을 0.88 dB 더 높여야하고 반면에 용량은 3 열량 줄어드는 선에서 서비스 품질을 높일 수 있음을 의미한다. 데이터 속도가 9.6 kbps로 낮출 때는

처리이득의 2배 차이로 인해 대체로 1.5배 이상 용량증가를 나타내었다.

표 4. 차단확률에 따른  $E_b/N_0$ 에 의한 열량용량

차단 확률	요구되는 SIR	열량용량 (9.6 kbps/14.4 kbps)			
		단일셀 경우	하드핸드오프	소프트 핸드오프	핸드오프 간 비교
$P_{out}$	$E_b/N_0$	$\zeta=0$	$\zeta=2.38$	$\zeta=0.77$	이득
0.02	5	51/31	15/9	28/18	13/9
	6	38/23	12/7	22/13	10/6
	7	29/17	9/6	16/10	7/4
0.05	5	55/34	17/10	31/20	14/10
	6	42/26	12/8	24/15	12/7
	7	32/20	10/6	18/11	8/5
0.1	5	59/37	18/11	34/21	16/10
	6	46/29	14/9	27/16	13/7
	7	36/22	11/7	20/13	9/6

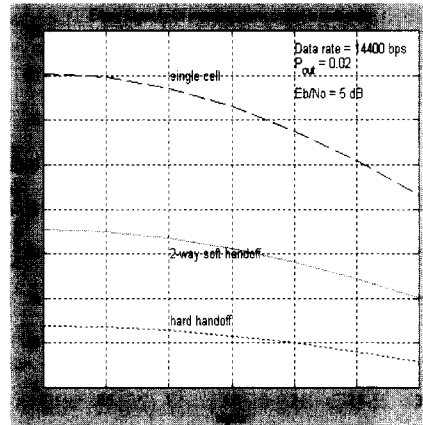


그림 2. 핸드오프방식에 따른 전력제어 오차 대 열량용량

그림 2는  $E_b/N_0=5$  dB에서 차단확률이 0.02인 경우 핸드오프방식과 전력제어 오차 값 변화(0 - 3 dB)에 따른 열량용량을 구한 것이다. 대체로 전력제어를 하고 있어도 불완전 전력제어로 인해 2.5 dB정도 전력제어오차가 발생하는데 여기서 적용한 오차범위에서 핸드오프를 하지 않는 단일 셀인 경우가 열량용량이 27 열량에서 40 열량으로 최대 값을 나타내며, CDMA 시스템의 셀 용량은 외부의 다중 셀로부터 간섭에 영향을 받기 때문에 용량은 줄어드는데, 다중 셀에서 두 개 셀간 소프트 핸드오프하는 경우에 비해 10 열량에서 15 열량 정도 많고, 하드 핸드오프 경우에 비해 20 열량에서 28 열량 정도 많은 것으로 나타났으며, 핸드오프 방식간

에 10 열량에서 13 열량 정도 소프트 핸드오프 이득이 발생하였다.

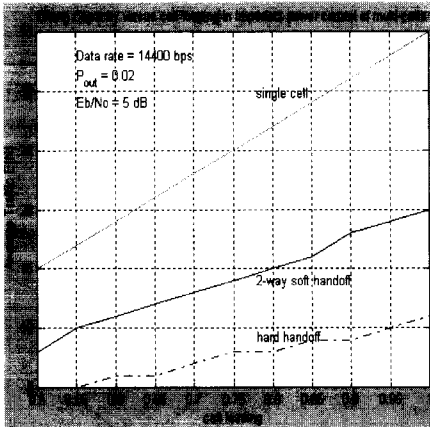


그림 3. 핸드오프방식에 따른 셀 부하 대 열량용량

그림 3은 핸드오프방식에 따른 셀 부하( $N/N_{max} = 1-\eta$ )대 열량용량을 나타낸 것으로 셀 부하가 50% 이하인 경우는 열잡음 제약(noise-limited)시스템이므로 제외시켰으며, 다중 셀 CDMA 시스템인 경우는 간섭 제약(interference-limited)시스템이므로 셀 부하가 50%( $\eta=0.5$ )이상인 경우를 나타내었고, 100%( $\eta=0$ )인 경우는 열 잡음의 영향을 전혀 받지 않고 단지 다중 셀의 간섭 영향만 받는 상태이기 때문에 가장 이상적인 열량용량(가장 큰 값)을 나타내고 있다. 시스템에서 셀 부하가 걸릴 때 셀 커버리지는 사용자 수와 분포에 의해 결정되며, 본 연구에서는 셀 부하가 90% ( $1/\eta=10$  dB)일 때를 기준으로 열량용량을 계산하여 셀 최대용량으로 적용하였다.

4.2 열량용량 계산에 따른 셀 커버리지 결과  
고찰  
데이터 속도가 14.4 kbps이고 중심 주파수가 1.9 GHz 인 경우에 핸드오프 유형별,  $E_b/N_0$ 와 차단확률에 의한 마진과 열량용량(표 3과 4), COST-231 모델에 의한 전파손실 등 파라미터를 적용해 도시, 교외, 개방지역에서 열량용량 기준으로 셀 커버리지와의 관계를 분석한다.

그림 4는 차단확률 0.05인 경우 중순 도시지역에서 마진과 열량용량을 적용해서 핸드오프 유형별 사용자수와 셀 커버리지 관계를 나타내었다.  $E_b/N_0 = 7$  dB에서 6 dB, 5 dB로 각각 낮출 경우 핸드오프 유형별 열량용량과 셀 커버리지 변화를 보면, 핸드오프가 없는 단일 셀 경우 20 열량에서 26 열량, 34 열량으로 증가와 셀 커버리지는  $E_b/N_0=1$  dB

감소마다 1.4 km에서 0.1 km, 0.15 km씩 늘어났고, 하드 핸드오프할 때는 1 dB 감소마다 6 열량에서 2 열량씩 증가하는 동시에 셀 커버리지는 1.3 km에서 0.1 km, 0.2 km씩 늘어났고, 소프트 핸드오프할 때는 1 dB 감소마다 11 열량에서 15 열량, 20 열량으로 증가와 셀 커버리지도 1.5 km에서 0.1 km, 0.22 km씩 증가하였다. 단일 셀 경우에 비해 하드 핸드오프할 때는 셀 커버리지가 0.1 km 감소하지만 소프트 핸드오프할 때는 0.1 km 증가하고, 핸드오프간에는 0.2 km 증가하였다. 이는 소프트 핸드오프시 마진을 줄일 수 있기 때문이다.

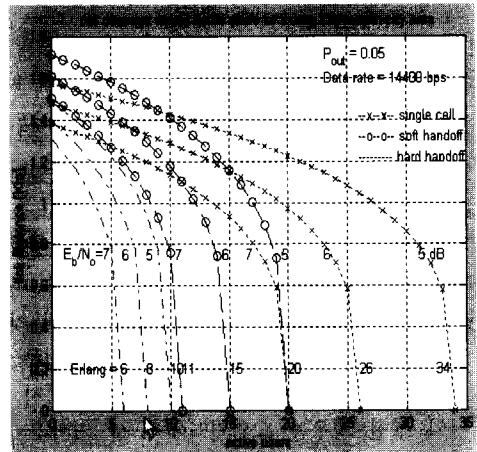


그림 4. 도시지역에서 핸드오프방식과 열량용량에 따른 셀 커버리지 대 사용자수(차단확률: 5%)

그림 5는  $E_b/N_0=5$  dB인 경우 도시지역에서 핸드오프방식과 차단확률의 변화에 따른 셀 커버리지 대 사용자수를 나타낸 것이다. 차단확률이 0.02에서 0.05, 0.1로 각각 높이는 경우 핸드오프가 없는 단일 셀 경우 31 열량에서 34 열량, 37 열량으로 증가와 셀 커버리지도 1.45 km에서 0.1 km, 0.2 km씩 늘어났고, 하드 핸드오프할 때는 9 열량에서 10 열량, 11 열량으로 증가와 더불어 셀 커버리지도 1.4 km에서 0.1 km, 0.15 km씩 늘어났고, 소프트 핸드오프할 때는 18 열량에서 20 열량, 21 열량으로 증가와 셀 커버리지도 1.6 km에서 0.12 km, 0.21 km씩 증가하였다. 따라서 단일 셀 경우에 비해 하드 핸드오프할 때는 셀 커버리지가 0.1 km이하로 감소하지만 소프트 핸드오프할 때는 0.15 km이상 증가하였고, 핸드오프간에는 0.2 km이상 증가함을 알 수 있다. 이는 차단확률을 낮추면 마진을 더 높여야하고 반면에 열량용량과 셀 커버리지의 약간 감소를 가져오지만, 소프트 핸드오프를 한다면 마진

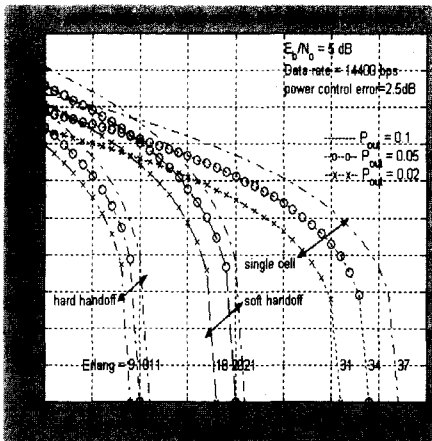


그림 5. 도시지역에서 핸드오프방식과 차단확률에 따른 셀 커버리지 대 사용자

을 줄일 수 있어 열량용량과 셀 커버리지도 증가하는 이득이 발생하여 서비스품질을 높일 수 있다는 것을 의미한다.

그림 6과 7은  $E_b/N_0=5$  dB인 경우 교외와 개방지역에서 핸드오프 유형별 차단확률의 변화에 따른 사용자수와 셀 커버리지 관계를 각각 나타낸 것이다. 차단확률이 0.02에서 0.05, 0.1로 높일 경우 위와 동일한 열량용량 기준으로 핸드오프를 하지 않는 단일 셀인 경우는 교외지역에서 셀 커버리지는 3.25 km에서 0.25 km, 0.5 km씩 늘어났고 개방지역에서는 12 km에서 1 km, 2 km씩 늘어났다. 하드 핸드오프할 때 교외지역에서 셀 커버리지는 3.1 km에서 0.2 km, 0.4 km씩, 개방지역에서 11 km에서 1 km, 2 km씩 늘어났다. 소프트 핸드오프할 때 셀 커버리지도 교외지역에서는 3.6 km에서 0.2 km,

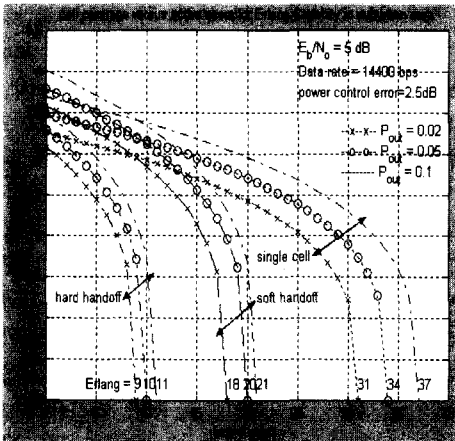


그림 6. 교외지역에서 핸드오프방식과 차단확률에 따른 셀 커버리지 대 사용자

0.4 km씩, 개방지역에서는 13 km에서 1 km, 2 km씩 증가하였다. 따라서 단일 셀 경우에 비해 하드 핸드오프할 때는 셀 커버리지가 교외지역은 0.15 km 이하, 개방지역은 1 km정도 감소하지만, 소프트 핸드오프할 때는 교외지역은 0.25 km이상, 개방지역에서는 1 km이상 증가하였고, 핸드오프간에는 교외지역 및 개방지역은 0.5 km, 2 km 이상씩 증가한다는 것을 알 수 있었다.

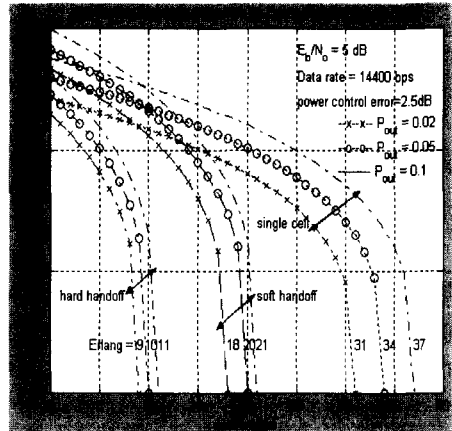


그림 7. 개방지역에서 핸드오프방식과 차단확률에 따른 셀 커버리지 대 사용자

### V. 결론

본 연구에서는 데이터 속도가 14.4 kbps이고 중심 주파수가 1.9 GHz인 불완전 전력제어된 CDMA 시스템의 역방향 링크에서 시스템 파라미터 값과 차단확률이 동일한 조건에서 핸드오프 유형별 링크 마진과 열량용량을 각각 계산하여 사용자수와 셀 커버리지 관점에서 새롭게 적용하여 분석하였다. 이상적인 상황에서 셀의 최대용량을 계산하여 적용하는 대신에 실제 호 발생에 의한 채널 트래픽과 간섭의 영향을 고려한 차단확률에 의해 열량용량을 계산함으로써 보다 현실적인 채널 수를 구할 수 있고, 페이딩 또는 전파유형으로 인한 신호레벨 변동에도 이를 보상하고자 차단확률에 의한 마진을 계산해서 전파손실을 구할 때 적용함으로써 도시, 교외, 개방지역에서 셀 커버리지 계산시 신뢰성을 기할 수 있었다.

$E_b/N_0$  값이 동일한 조건에서 차단확률을 낮추면 이에 상당하는 마진을 더 높여 적용할 필요가 있는 반면에 열량용량과 셀 커버리지는 약간 감소하였고, 차단확률의 증감에 따라 링크마진을 조정하면 신뢰



성과 서비스품질을 높일 수 있었고, 차단확률을 동일하게 하고  $E_b/N_0$  값을 낮추는 경우 마진을 똑같이 적용해도 열량용량과 셀 커버리지는 함께 증가하였다. 이때 소프트핸드오프를 적용한다면 핸드오프가 불필요한 단일 셀인 경우에 비해 열량용량은 줄어들었지만 마진은 더 줄일 수 있었고 셀 커버리지도 증가하였다. 하드핸드오프에 비해서는 마진은 더 줄일 수 있어 열량용량과 셀 커버리지 모두 증가하였다. 따라서 사용자수와 셀 커버리지 계산에서 핸드오프 유형별로 차단확률에 근거한 열량용량과 마진을 계산해서 함께 적용하는 제안된 방식이 기존의 방식에 비해 더 현실적이고 신뢰성을 높일 수 있었다.

본 연구의 결과로 CDMA 시스템 분석시 핸드오프방식에 따른 사용자 수와 셀 커버리지는 관점에서 셀의 최적설계를 위한 새로운 기준과 이론적 근거로 이용될 수 있을 것이다. 앞으로 저속의 음성과 고속의 데이터를 함께 멀티미디어 데이터 전송이 가능한 IMT-2000, W-CDMA 시스템에 대한 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] S. C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House, 1998.  
 [2] V. K. Garg, *IS-95 CDMA and cdma 2000 Cellular /PCS System Implementation*, Prentice-Hall, 2000.  
 [3] A. J. Viterbi, et al. "Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity," *IEEE J. on Selected Area Comm.*, vol. 12, no. 8, Oct. 1994.  
 [4] 한익수, 김경태, "CDMA 셀룰라 시스템에서 음성통화시 열량용량과 Pole capacity 계산," *한국통신학회 논문지*, vol. 27, no. 5B, pp. 495-506, 2002. 5.  
 [5] A. J. Viterbi and A. M. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE J. on Selected Area Comm.*, vol. 11, no. 6, Aug.1993.  
 [6] J. S. Lee and L. E. Miller, "On The Erlang capacity of CDMA cellular system," in *GLOBE-COM '95 Conf.*, pp.1877-83, Singapore, Nov. 1995.

[7] 김장욱외 3인, "스위칭 중계기를 사용한 이동통신 시스템의 채널용량," *한국전자과학회 논문지*, vol. 13, no. 1, pp. 33-39, 2002. 1.  
 [8] Q. Zhang, O. Yue, "UMTS air interface voice/data capacity -part 1 : reverse link analysis," *IEEE VTC'01*, vol. 4, pp. 2725-29, Spring 2001.  
 [9] K. Hiltunen, N. Binucci, "WCDMA downlink coverage : interference margin for users located at the cell coverage border," *IEEE VTC'02*, vol. 1, pp. 270-274, Spring 2002.  
 [10] H. C. Jeon, et. al., "Analysis on coverage and capacity in adoption of repeater systems in CDMA 2000," *International Zurich Seminar on Broadband Comm.*, pp. 33-1 - 33-6, Feb. 2002.

권 영 수(Young Soo Kwon)

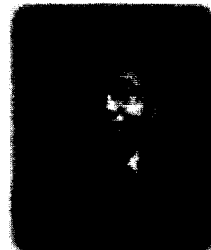
정회원



1982년 : 광운대학교  
전자공학과(공학사)  
1985년 : 연세대학교  
전자공학과(공학석사)  
2002년 : 충북대학교  
정보통신공학과 박사수료  
1985년~1992년 : LG 전자  
(주)연구소 선임연구원  
1992년~현재 : 주성대학 디지털정보통신공학과 부  
교수

김 남(Nam Kim)

정회원



1981년 : 연세대학교  
전자공학과(공학사)  
1983년 : 연세대학교  
전자공학과(공학석사)  
1988년 : 연세대학교  
전자공학과(공학박사)  
1992년~1993년 :  
미 Stanford 대학 방문교수

2001년~2001년 : 미 Caltech 방문교수  
1989년~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 교수  
<주관심 분야> 디지털 이동통신, 무선시스템, 전자  
파 해석, EMI/EMC, Diffractive Optics,  
WDM Optical Filter & DEMUX Optical  
Memory, Holography Application.