

Tower Mount LNA 장착에 따른 CDMA PCS 기지국의 역방향 성능 분석

Performance Analysis of 1.8GHz CDMA 1x Reverse Link including Tower Mount LNA

박상현*, 최영완*, 윤영상**, 장재선***

* 중앙대학교 전자공학과 광전자 및 광통신연구실

** 에이스테크놀로지 RF연구소

*** (주)케이티프리텔 N/W연구소 Access망 연구팀

E-mail : Shpark@acetech.co.kr

Abstract

In this paper, we focused on the performance of reverse link in 1.8GHz CDMA 1x system including the Tower-Mount LNA in an urban environment. In order to study the benefit of TMLNA, Hata model is used and the effects of multiple cells are considered. Cell coverage extension ratio is proportional to the increased gain of TMLNA in CDMA cell site. However the cell coverage is not extended even if the noise figure of TMLNA is reduced in an urban area. When typical RSSI is between -70dBm and -80dBm, the increased gain and the reduced NF of TMLNA are not impact to the pole capacity of cell site. Namely, the benefit of TMLNA in an urban area is not the problem of capacity but the problem of sensitivity. The results are also shown that reverse link E_b/N_0 is improved by minimum 5dB and BER is lower than 10^{-6} .

1. 서론

전세계적으로 이동통신 네트워크의 빠른 확산으로 네트워크의 하드웨어적인 부분에 대한 성장은 급속히 진행되어 왔다. 초기의 이동통신 시장은 빠른 시간에 이동통신 네트워크 설비의 확장과 가입자 유치 등에 주력하였다. 그러나 이동통신 시장의 포화가 임박한 지금의 시점에서는 좋은 품질의 이동통신 서비스와 낮은 비용으로 기지국 성능을 개선하는 것이 주된 관심사항이 되고 있다. 이러한 기지국 성능을 개선시키기 위해서 QoS의 개선, 시스템 용량의 증대, 셀 반경의 확장 등의 많은 연구가 이루어지고 있다 [1][2][3]. 한국에서 무선통신서비스방식으로 채택된 CDMA 시스템에 대해서도 무수히 많은 연구와 과제해결을 통하여 예측, 분석 및 발표되어 왔다. 그

러나 CDMA 시스템은 interference-limited system 이기 때문에 통화 품질을 개선시키고 system내 용량을 증가시키기 위해서는 셀 내에서 기지국과 가입자들이 낮은 Signal to Interference Ratio(SIR)의 상태에서 이루어져야 한다. TMLNA(Tower Mount Low Noise Amplifier)는 이러한 셀의 역방향 링크 성능을 개선시키는, 특히 교외지역에서의 셀 확장에 가장 도움이 되는 장치로 익히 잘 알려져 왔다. 그러나 TMLNA의 효과를 분석하기 위한 모의실험 및 시스템 성능에의 영향은 주로 외국의 논문 및 발표에 근거하여 이용하였을 뿐, 국내의 CDMA1x PCS 기지국 상황을 고려한 분석은 없었다. 본 논문에서는 TMLNA 장착에 따른 역방향 링크의 성능에 대한 분석을 위해서 도심환경에서의 CDMA 1x PCS 기지국 환경을 배경으로 한 시뮬레이션을 바탕으로 분석하였다. 본 논문의 세부적인 구성은 다음과 같다. 첫째

는 TMLNA의 장착으로 인한 CDMA 기지국의 역 방향 링크의 셀 coverage의 변화를 모의실험 분석하여 셀 확장율을 표현하였다. 둘째는 다중 셀이 중첩되어 있으며 각 셀 마다 3 섹터화된 도심환경에서의 CDMA기지국에서의 TMLNA의 이득과 잡음지수에 따른 기지국의 용량을 계산하였다. 셋째는 TMLNA 장착에 따른 역방향 통화 채널 E_b/N_0 를 계산하였으며, 이를 바탕으로 역방향 링크의 비트 오류율을 비교 계산하였다.

2. TMLNA장착에 따른 셀 확장

흔히 BTS의 저 잡음 증폭기 앞 단의 안테나 케이블 손실은 그대로 수신잡음지수의 증가로 작용하고 역 방향 셀 반경 및 기지국 용량을 감소시킨다고 알려져 왔다. 이러한 케이블 손실에 의한 수신잡음지수의 증가를 방지하기 위한 BTS내 수신초단에 저 잡음증폭기를 철탑꼭대기 안테나 바로 밑에 이중으로 설치하기도 한다. TMLNA 장착으로 인한 셀 반경의 확장은 서비스 사업자들에게 다음과 같은 많은 이익을 가져다 준다[1].

- 셀 반경의 확장으로 인한 기지국수의 감소로 인한 시설비 및 유지비의 절감효과
- 사용자 handset의 전송파워를 감소시켜 동 채널 및 인접 채널의 잡음감소
- 높은 전송 성공율과 낮은 호 절단율로 사용자 만족도 증가
- 기지국의 sensitivity를 증가시켜 높은 품질의 서비스 제공

그림1은 TMLNA 장착으로 인한 기지국 역방향 링크의 셀 반경의 확장을 간략히 표현하고 있는데, 설치할 기지국이 교외 지역이든 혹은 도심환경 지역이든 상관없이 공통적으로 셀 반경이 확장된다고 알려져 있다. 본 논문에서는 도심환경에서의 TMLNA의 장착에 따른 셀 반경의 확장율을 실제 기지국의 환경을 바탕으로 계산하고자 한다. 그 파라미터들은 table1에서 보여주고 있다. 셀 반경의 확장율을 수식

적으로 표현하고 있으며 이를 위해서 익히 잘 알려진 일본 NTT의 Hata 모델을 이용하였다[4][5]. 또한 시스템의 잡음지수는 직렬형 잡음지수계산법을 이용하여 TMLNA의 이득의 변화에 따라 계산하였다.

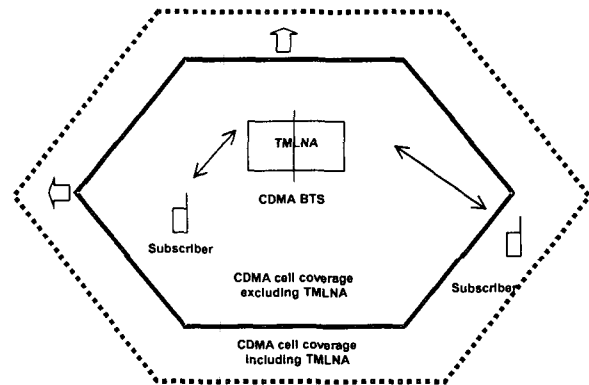


Fig. 1 Cell coverage of reverse link including TMLNA

Table 1 parameter for calculation of cell coverage

Mobile 송신출력 (P_{mt})	24dBm
Mobile 송신안테나 이득 (G_{mt})	0dB
Body Loss (L_{mt})	4dB
기지국 수신 안테나이득 (G_{bis})	15.5dB
기지국 diversity 이득 (G_{div})	3dB
기지국 수신안테나 cable 손실 (L_{cable1})	0.3dB
기지국 수신안테나 cable 손실 (L_{cable2})	3dB
역방향 통화채널의 최소 ($(E_b/N_0)_{req.}$)	7dB
열 잡음 밀도(290K) (N_f)	-174dBm/Hz
CDMA 대역폭 (W)	1.23MHz
음성 부호화율 (R)	9600 bps

$$d [km] = 10^{\frac{FM [dB] - 69.55 + 26.16 \log f_c + 13.82 \log h_t + a(h_r)}{44.9 - 6.55 \log h_r}}$$

d : 전파의 통달거리

h_t : 기지국 안테나 유효높이

f_c 사용주파수

$a(h_r)$: 대도시 환경에서의 이동국안테나의 높이보정 factor

$$= 3.2(\log_{10} 11.75h_r)^2 - 4.97$$

FM : field Margin

$$= P_{mt} + G_{mt} - L_{mt} + G_{bts} + G_{div} - L_{cable1} + G_{tm} - NF_{tm} - RSSI_{req.}$$

NF_{tm} : TMLNA의 장착에 따른 기지국 system 잡음 지수

$$= NF_{cable1} + (NF_{TMLNA} - 1) \times L_{cable1} + \frac{(NF_{cable2} - 1) \times L_{cable1}}{G_{tm}}$$

$RSSI_{req.}$: 기지국 최소 수신 한계 레벨

$$= \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req.} + 10\log(R) - N_f W$$

일반적으로 CDMA 기지국시스템에서 정지된 이동국이 1%의 FER을 위해서 $(E_b/N_0)_{req.}$ 가 5dB 필요하였다면, 30~40Km/h의 속도로 이동하게 되면 1%의 FER을 위해서는 8dB 이상의 값이 요구되어 진다. 그러나 본 논문에서는 $(E_b/N_0)_{req.}$ 의 평균값은 7dB로 적용시켜 계산하였다. 다수 셀, 다수통화의 환경에서는 역방향 링크의 셀 반경은 전적으로 주변기지국의 배치의 상황에 따라서 큰 편차를 보이므로 본 논문에서는 절대적인 값보다는 상대적인 확장율로써 그 영향을 표현하였다. 그림 2를 보면 CDMA 역방향 링크의 coverage의 상대적인 확장율에 영향을 크게 미치는 요인은 잡음지수보다는 TMLNA의 이득의 영향이 크다고 할 수 있다. 이는 CDMA 기지국의 역방향 통화채널용량을 결정하는 $(E_b/N_0)_{req.}$ 에 영향을 미치는 요인은 시스템 전체의 잡음지수도 있지만 전체적으로 보면 수신신호의 레벨의 크기를 결정하는 TMLNA의 이득의 영향이 절대적인 이유에서 비롯한다. TMLNA의 장착에 따른 영향은 기지국 시스템에 따라 혹은 주변 환경에 따라서 다를 수 있겠지만 TMLNA의 이득이 약 12dB~13dB일 경우 CDMA 1x PCS 기지국 셀의 역방향 링크의 coverage는 2

배의 크기를 갖게 된다고 볼 수 있다. 그러나 실제 기지국 환경에서는 역방향 링크상에 구성되어지고 있는 components들로 인하여 시스템의 성능은 제한을 받게 되고, 그 결과 셀 반경 확장률은 포화에 이르게 된다. 본 논문에서는 시스템을 구성하고 있는 구성품들이 역방향 시스템의 성능에 영향을 주지 않는다고 가정하였다.

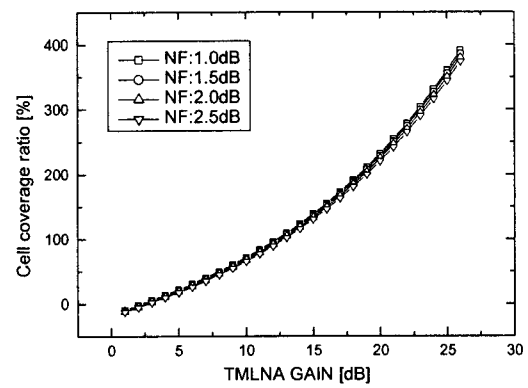


Fig. 2 Cell coverage ratio vs TMLNA gain

Table 2 Parameter for calculation of pole capacity

Voice activity ratio (α)	0.4
Other cell interference fraction (f)	0.55
Processing Gain ($PG = W/R$)	21.08dB
FER	1%

3. TMLNA장착에 따른 cell의 pole capacity

일반적으로 CDMA 기지국 시스템에서 통화자수의 증가에 따라 잡음지수의 증가로 인해 전체 통화용량을 결정하는 요인은 2가지가 있는데, 본 논문에서는 순방향 링크 통화용량 제한이 역방향 링크 통화용량 제한 보다 우선하지 않는다는 가정 하에 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서는 음성통화 기준으로 계산하기로 하고, 시뮬레이션을 위해 적용될 파라미터들은 table 2에 나타나 있다.

N_0 는 잡음을 포함하여 수신되는 모든 신호 및 기지국 잡음지수를 포함한 단위주파수당 잡음 밀도를 나타내는데, 크게 3가지 성분으로 구성된다. 첫째는 이동국 수신기의 잡음지수에 의해 증폭되는 값, $NF \times N_i$, 둘째는 자기 셀 내의 다른 $(n-1)$ 명의 이동국으로부터의 수신되는 신호의 세기와 음성활동 α 를 곱한 값, $(n-1) \times S \times \alpha$, 마지막으로 다른 셀 내의 이동국으로부터 유입되는 잡음으로서 주파수 재 활용 계수 f 를 고려한 값, $f \times (n-1) \times S \times \alpha$ 로 표현할 수 있다[4][5]. 역방향 링크의 통화자수는 아래의 수식과 같이 표현되어질 수 있으며, pole capacity의 정의에 따라서 열 잡음항을 무시하고 섹터화 이득을 나누어주면 섹터당 최대가입자수를 산출할 수 있다.[5][6]

$$N = \frac{PG \times S}{\alpha(E_b/N_0)(1+f)} + 1 - \frac{NF \times N_i \times BW}{\alpha(1+f)S}$$

$$N_{max} = \frac{PG \times S}{\alpha(E_b/N_0)(1+f)} + 1$$

위의 수식에서 셀 내에서의 통화자수는 역방향 통화채널의 E_b/N_0 에 반비례함을 알 수 있다.

그림 3을 보면 수신되는 power level이 일정할 때 TMLNA의 이득에 따라서 셀 반경 내 통화자수가 증가함을 알 수 있다. 그러나 CDMA 기지국내에서 허용하는 수신 레벨인 -70dBm~-80dBm의 범위에서는 TMLNA의 이득이 증가하여도 더 이상의 통화자수의 증가는 없으며 약 27명으로 수렴한다. 그림4를 보면 동일 이득의 TMLNA에서 잡음지수의 감소에도 통화자수 증가는 없다는 것을 알 수 있는데, 이는 본 논문에서 가정한 도심환경에서는 자기 셀 내에서 혹은 타 셀로부터의 유입되는 interferer가 상당히 많기 때문에 TMLNA의 잡음지수의 개선이 곧바로 통화량 증가를 초래하지는 않는다. 결과적으로 TMLNA 장착이전의 셀 반경 내에서는 추가적인 통화자수의 증가는 없지만 TMLNA 장착으로 인한 확장된 셀 반경에서는 상대적인 통화자수의 증가를 가져온다.

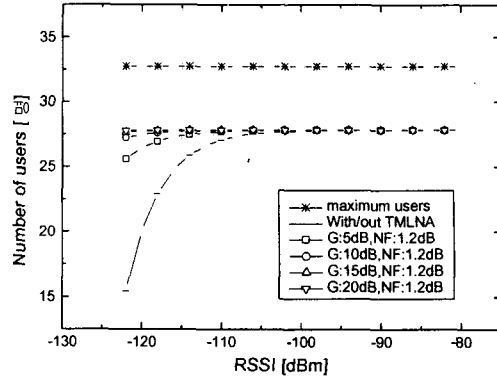


Fig. 3 Number of users as a function of TMLNA gain ($E_b/N_0 = 7\text{dB}$)

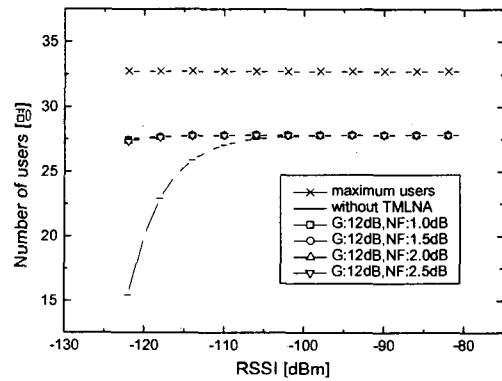


Fig. 4. Number as a function of noise figure of TMLNAN ($E_b/N_0 = 7\text{dB}$)

4. TMLNA장착에 따른 역방향 통화 채널 E_b/N_0 와 BER

위의 결과에서 보면 도심환경에서의 TMLNA의 장착은 셀의 역방향 링크의 coverage를 확장하지만 동일 셀 내 pole capacity의 증가는 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 부분에서는 TMLNA장착에 따른 기지국내 시스템의 sensitivity에 대해서 분석하고자 한다. 아래의 수식에서 알 수 있듯이 역방향 통화채널의 E_b/N_0 는 수신 잡음에 반비례하고 수신신호의 세기에 비례한다. 다시 말하면, TMLNA의 장착으로 인한 TMLNA 이득만큼 수신신호의 레벨이 증가하지

만, 셀 반경의 확대에 의한 타 기지국 내에서의 가입자로부터 유입되는 신호의 세기도 증가하게 되고, 또한 인접 셀이나 섹터화로 인한 유입 잡음 역시 커진다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{PG \times S}{NF \times BW \times N_t + \alpha(1+F)(N-1)S}$$

그림5에서 보면 TMLNA의 이득이 증가함에 따라서 역방향 통화채널 E_b/N_0 의 값 역시 증가하지만 약 12dB에 수렴하는 것을 알 수 있다.

이동통신 시스템의 통화 품질은 결국 통화 채널의 비트 오류율(BER)로 표현될 수 있는데, 통화채널의 비트 오류율과 E_b/N_0 의 관계는 아래의 수식과 같다.

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{E_b/N_0})$$

수식에서 알 수 있듯이 통화채널의 E_b/N_0 값이 클수록 비트 오류율은 감소하게 되고, TMLNA의 이득이 클수록 BER의 값은 향상된다고 볼 수 있다. 그림6을 보면 TMLNA의 이득이 증가함에 따라 BER의 값이 감소하게 되고 이는 상대적으로 수신통화 품질의 향상을 의미한다. 그러나 역방향 링크의 수신레벨이 증가하면 비트 오류율도 역시 3×10^{-7} 에 수렴하는 것을 알 수 있었다.

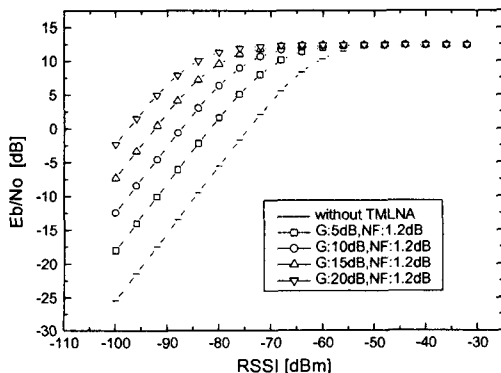


Fig. 5 Reverse link E_b/N_0 as a function of TMLNA gain (number of users=25)

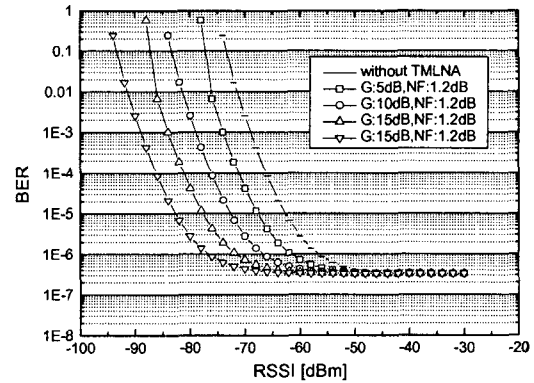


Fig. 6 BER as a function of TMLNA gain (number users =25)

5. 결론

본 논문은 TMLNA의 장착으로 인한 도심환경에서의 CDMA1x PCS 기지국의 역방향 통화채널에 대한 성능을 모의 실험을 바탕으로 분석하였다. TMLNA의 이득은 전체시스템의 잡음지수를 감소시키고 역방향 링크 coverage를 확장하는 결과를 가져오지만, TMLNA의 잡음지수는 예상과는 달리 역방향 링크 coverage를 확장율에 미치는 영향은 적었다. 또한 TMLNA의 이득과 잡음지수는 시스템의 통화용량에 미치는 영향이 없었다. 그러나, 수신레벨이 -70dBm~

-80dBm정도일 때 역방향 통화채널의 E_b/N_0 은 최소한 5dB정도 개선되고, 이는 기지국내 신호의 수신감도를 개선시켜 BER을 10^{-6} 이하로 감소시켜 통화품질을 개선시킨다는 사실을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] William C.Y.Lee and David J.Y.Lee, "The Impact of Front End LNA on cellular System". IEEE VTC2000, pp.2180 - 2184, 2000

- [2] William C.Y.Lee. "Overview of Cellular CDMA." IEEE Trans. Veh. Technol.,vol 40,no.2, pp.291-302,May 1991.
- [3] Fuyun Ling, "Pilot assisted coherent DS-CDMA Reverse-link communications with optimal robust channel estimation", IEEE
- [4] K.S.Gilhousen, et al. "On the capacity of a cellular CDMA system.", IEEE Trans. Veh. Technol., vol 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [5]이상근 외 저, "IMT-2000 CDMA 기술", 세화, 2000
- [6]A. Viterbi et al. " Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 11, No. 6, pp.892-900, 1993.