

# 이동통신의 광역 서비스를 위한 기지국 설계에 관한 연구

장근호\*, 박근혜\*\*, 최동유\*\*, 최동우\*\*, 박창균\*\*\*

\* 조선대학교 산업대학원 전자공학과

\*\* 조선대학교 대학원 전자공학과

\*\*\* 조선대학교 공과대학 전자정보통신공학부

## A Study on the Planning a base station for wide service of mobile communication

Jang Keun-Ho\*, Park Keun-Hee\*\*, Choi Dong-You\*\*

Choi Dong-Woo\*\*, Park Chang-Gyun\*\*\*

\* Dept. of Electronic Engineering Industry Graduate School Chosun University

\*\* Dept. of Electronic Engineering Graduate School Chosun University

\*\*\* Dept. of Electronic & Information Engineering School Chosun University

E-mail : dy\_choi@hanmail.net

### I. 서 론

경제성 미흡 지역에 대한 이동통신의 보편적 서비스의 실현을 위해서는 최소의 시설 투자비와 유지 보수비로 서비스 영역을 확장할 수 있는 기술개발이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 제한된 통화권역을 확대하여 근·원거리 해상에 이동통신 서비스를 제공하고, 기지국 추가 설치에 따르는 불필요한 시설투자비와 운영비를 최소화할 수 있는 방안을 제시하기 위하여 기지국의 안테나 실효 해탈고, 기지국 출력, fine\_adjust 그리고 등가 가지거리를 파라미터로 시뮬레이션 및 분석을 함으로써 해상 서비스 커버리지 확장을 위한 이동통신 기지국의 최적조건을 구한다.

### II. 이동통신의 전파환경

이동통신의 전파환경에서 신호에 영향을 끼치는 중요한 손실 파라미터는 전파경로 손실, 페이딩에 의한 손실, 위상지연에 의한 손실 등이며 가장 고려해야 할 파라미터는 전파경로 손실이고 마이크로셀 경우는 더욱 그러하다.<sup>[1][2][3][4]</sup> 실제 하나의 이동통신 기지국이 커버할 수 있는 서비스 영역이 협소해짐에 따라 페이딩에 의한 손실과 전파지연에 의한 손실은 그동안 여러 차례 현장측정에 의해 별다른 영향을 주지 않는 것으로 판명되었다.

그러나 이동통신에서 기지국의 서비스 영역을 수배로 확대하는 경우 페이딩에 의한 손실과 위상 지연에 의한 손실을 무시할 수 없고, 특히 CDMA 방식 이동통신 위상 지연은 서비스 영역 확장과 직접 관계가 있다.

#### A. 자유공간 전파경로 손실

송신안테나의 출력이  $P_t[W]$ 일 때, 직선거리  $d [m]$  떨어진

임의 수신점에서의 전력밀도  $P_{rd}[W/m^2]$ 는 식 (2-1)과 같다.<sup>[5][6]</sup>

$$P_{rd} = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (2-1)$$

등방성 안테나의 실효개구면적  $A_e[m^2]$ 는 식 (2-2)와 같다.

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2-2)$$

식 (2-1)에 식 (2-2)를 대입하여 등방성 안테나의 수신전력  $P_r[W]$ ,  $P_r[dBm]$ 을 구하면 식 (2-3), 식 (2-4)와 같다.

$$P_r [W] = \frac{P_t}{4\pi d^2} \times A_e = P_t \times \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (2-3)$$

$$\begin{aligned} P_r [dBm] &= 10 \log \frac{P_r [W]}{1 \times 10^{-3}} = 10 \log \frac{P_t [W] \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2}{1 \times 10^{-3}} \\ &= 30 + 10 \log P_t [W] \end{aligned} \quad (2-4)$$

#### B. 다중경로에 의한 CDMA 신호의 지연확산

디지털 신호 전송의 경우 다중경로를 통한 시간차 도착에 기인한 심볼간 간섭효과를 지연확산이라 하며, 이동국에 도래한 수신 신호의 전계강도는 반사시 입사각과 반사각, 반송 주파수 그리고 편파의 종류에 의해 달라진다. 실제 이동국에 도래하는 신호의 직접경로와 반사경로 사이에는 경로차가 존재하고, 이 경로차 때문에 각 신호는 시간차를 갖게 된다. 만일 기지국의 송신기에서 송격파  $a(x,t)$ 를 시간  $t=0$ 인 순간에 전송하

였다면 수신된 신호  $h(t)$ 는 식 (2-5)와 같다.

$$h(t) = \sum_{i=1}^n a_i \delta(t - T_i) \quad (2-5)$$

여기서,  $n$  : 전체 산란 인자의 개수,  $a_i$  :  $i$ 번째 경로를 통하여 수신된 신호의 크기,  $T_i$  :  $i$ 번째 도달된 충격파의 시간 지연이다.<sup>[7]</sup>

현재 사용하고 있는 CDMA 이동통신 시스템에서 데이터 전송률 1.2288[Mbps]으로 시간  $t=0$ 인 순간에 임펄스를 전송하는 경우, 그 임펄스가 이동국에 도래하는 동안 다수의 반사경로가 존재하여 약 1[km] 정도 떨어진 수신기에서는 여러 개의 임펄스 또는 지연 확산된 임펄스를 수신한다. 여기서 칩(chip)이란 DS-CDMA 방식에서 원신호의 확산을 위해 사용하는 PN code의 한 비트 주기를 의미하며 디지털 정보를 담고 있는 비트와 구별하기 위해 사용한다.<sup>[8]</sup>

만일 시간차  $\Delta t$  가 한 심볼 주기보다 크다면, 인접 심볼간 간섭이 발생하여 원래의 심볼 주기보다 훨씬 빠르게 또는 늦게 도착한 심볼은 앞이나 뒤의 심볼에 악영향을 미칠 수 있다. 경로차가 고정되어 있고 지연 확산이 일정하다면 고속의 데이터 전송 시스템은 지연확산으로 인한 심볼간 간섭의 영향을 더욱 많이 받는다.<sup>[9]</sup>

### III. 안테나 실효 해발고에 따른 가시거리와 등가 가시거리

지표면에 위치한 이동국과 마찬가지로 이동통신 기지국으로부터 수 [km] 떨어진 해면상에 위치한 이동국 또한 직접파와 반사파에 의해 서비스를 받게 된다. 이동국이 내륙의 지표면에 위치한 경우, 주파수 재사용과 장애물 등에 의해 한 기지국이 줄 수 있는 서비스 영역은 극히 제한된다. 그러나 이동국이 해상에 위치한 경우는 지표면에 위치한 경우와 달리 기지국이 줄 수 있는 서비스 영역은 거의 무제한으로써 가시거리 영역과 직접 관계가 있다.

#### A. 해상에서의 가시거리와 등가 가시거리

그림 3.1과 같이 지구는 반경  $r$ (약 6,370 [km])인 구면 대지기 때문에 가시거리에 한계가 있다. 따라서 가시거리는 기지국 안테나와 이동국 안테나의 높이에 비례한다.

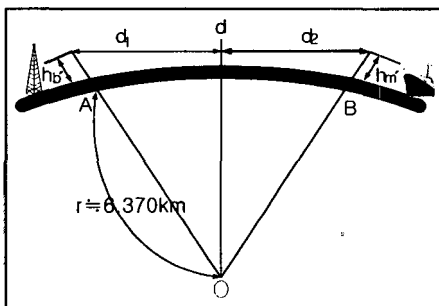


그림 3.1 기하학적 가시거리

기지국 안테나의 실효 해발고가  $h_b'$  [m]이고 이동국 안테나의 실효 해발고가  $h_m'$  [m]인 경우 기하학적 가시거리  $d$  [m]은  $h_b'$ 에서 수평선까지의 거리  $d_1$ 과  $h_m'$ 에서 수평선까지의 거리

$d_2$ 의 합으로써 식 (3-1)과 같다.

$$d = d_1 + d_2 \quad (3-1)$$

그림 3.1로부터  $h_b'$ 에서 수평선까지의 거리  $d_1$ 과  $h_m'$ 에서 수평선까지의 거리  $d_2$ 를 구하면 식 (3-2), 식 (3-3)과 같다.

$$d_1 = \sqrt{(h_b' + r)^2 - r^2} \quad (3-2)$$

$$d_2 = \sqrt{(h_m' + r)^2 - r^2} \quad (3-3)$$

지구반경  $r$ 가  $h_b'$ ,  $h_m'$ 에 비하여 충분히 크다는 조건을 식 (3-2), 식 (3-3)에 대입하면 식 (3-4), 식 (3-5)와 같다.

$$d_1 \approx \sqrt{2h_b'}r \quad (3-4)$$

$$d_2 \approx \sqrt{2h_m'}r \quad (3-5)$$

식 (3-1)에 식 (3-4), 식(3-5)를 대입하여 기하학적 가시거리  $d$ 를 구하면 식 (3-6)과 같다.<sup>[10]</sup>

$$d \approx \sqrt{2r}(\sqrt{h_b'} + \sqrt{h_m'}) \approx 112.8(\sqrt{h_b'} + \sqrt{h_m'}) \text{ [km]} \quad (3-6)$$

여기서  $h_b'$ ,  $h_m'$ 의 단위는 [m],  $r$  단위는 [km]이다.

한편, 대기층내 전파전파는 굴절에 의해 실제 기하학적 가시거리보다 더 멀리 전파하게 되며, 이에 따른 새로운 지구 반지름인 등가지구반경  $R$ 은 식 (3-7)과 같다.<sup>[10]</sup>

$$R \approx \frac{4}{3}r \quad (3-7)$$

기하학적 가시거리  $d$ 를 등가 가시거리  $D$ 로 나타내기 위해 식 (3-7)식을 식 (3-6)에 대입하면 식 (3-8)과 같다.<sup>[10]</sup>

$$D \approx \sqrt{2R}(\sqrt{h_b'} + \sqrt{h_m'}) \approx 130.3(\sqrt{h_b'} + \sqrt{h_m'}) \text{ [km]} \quad (3-8)$$

#### B. fine\_adjust 변경에 따른 서비스 영역 확장

기지국과 단말기간 이격 거리에 의해 시간 지연된 데이터를 기지국과 단말기가 인식하는 데는 신호에는 한계가 있으므로 fine\_adjust로 지연된 데이터를 보상한다. 그러나 기지국의 서비스 영역 확장만을 위하여 무작정 시간지연이 긴 데이터를 기지국이나 단말기가 받아들이는 것은 바람직하지 못하다. 왜냐하면 다중경로 페이딩하에서 고속의 데이터 전송시 심볼간 간섭은 물론 칩간 간섭이 증가하여 하드웨어 복잡도가 급속히 증가할 뿐 아니라 임의로 액세스 채널 Preamble\_window\_length를 늘려줄 경우 채널 카드의 액세스 채널 탐색 시간이 늘어나고, 이에 비례해서 호 설정 시간이 길어져 트래픽이 줄어들기 때문이다.

기존의 기지국 채널카드의 복조부 칩 지연은 192칩이며 가능한 서비스 영역은 약 20[km]로써 도심 마이크로셀의 셀 반경을 고려한다면 기지국 운영상 아무런 문제가 없다. 그러나 현재 도심 환경이 아닌 평야지역 또는 넓은 해상을 대상으로 경제적 인 이동통신 서비스를 하기 위해서는 서비스 영역을 20[km]보다 큰 40[km] 또는 그 이상으로 확장할 필요가 있다.

최대 330칩의 fine\_adjust를 파라미터로 할 때, 하나의 기지국이 줄 수 있는 이동통신의 최대 서비스 거리의 관계식은 식 (3-9)와 같다.

$$\text{최대 서비스 거리} = 40[\text{km}] + N \cdot T_c \cdot C / 2 [\text{km}] \quad (3-9)$$

여기서,  $N$  : 지면 침 수(정수),  $T_c$  : 칩 주기[ $\mu\text{s}$ ],  $C$  : 빛의 속도[m/s]이다.

단, 40[km]는 기존 기지국 채널카드의 복조부 칩 지연에 의한 서비스 거리이다.

#### IV. 시뮬레이션 및 검토

##### A. 안테나의 실효 해발고에 따른 가시거리와

###### 등가 가시거리

이동국 안테나의 실효 해발고를 3[m]로 가정하고 기지국 안테나의 실효 해발고를 100 ~ 600 [m] 범위로 가변할 때, 해안에 위치한 기지국 안테나의 실효 해발고에 따른 이동통신의 최대 서비스 가능 직진거리를 구하기 위하여 식 (3-6)과 식 (3-8)을 시뮬레이션한 결과인 기지국 안테나의 실효 해발고 100[m] 단위 변화에 대한 가시거리와 등가 가시거리 그리고 가시거리 대비 등가 가시거리의 증가율은 표 4.1과 같다.

표 4.1 안테나의 실효 해발고에 따른 서비스 영역 증가율

기지국 안테나 실효 해발고 [m]	100	200	300	400	500	600
가시거리 [km]	41.88	56.67	68.01	77.58	86.01	93.63
등가 가시거리 [km]	48.22	65.24	78.30	89.32	99.02	107.79
가시거리 차 [km] (D-d)	6.34	8.57	10.29	11.74	13.01	14.16
가시거리 대비 등가 가시거리 [%]	115	115	115	115	115	115

시뮬레이션 결과, 기지국의 출력이 충분하다는 전제하에 이동국 안테나 실효 해발고가 3[m]이고, 기지국의 실효 해발고가 각각 100[m], 200[m], 300[m], 400[m], 500[m], 600[m] 일 때, 각 해발고에 대응한 등가 가시거리 즉, 최대 서비스 가능 거리는 48.22[km], 65.24[km], 78.30[km], 89.32[km], 99.02[km], 107.79[km]임을 확인하였다. 그리고 가시거리 대비 등가 가시거리 백분율은 기지국 안테나 높이에 따라 100[m]당 115[%]의 일정 비율로 증가하였다. 예컨대, 등가 가시거리를 기준으로 서비스 영역을 2배로 확장하기 위해서는 안테나 높이가 기존 안테나 높이의 약 5배 높아야 함을 확인하였다.

##### B. 자유공간 손실과 해상의 거리에 따른 수신전력

기지국 안테나의 출력이 각각 2[W/CH], 2.5[W/CH], 3[W/CH], 4[W/CH], 6[W/CH]일 때, 임의의 해상점에 위치한 이동국이 수평면상 직선거리에 있다는 가정하에 이동국의 수신전력을 구하기 위해 자유공간 손실 관계 식 (2-4)를 시뮬레이션한 결과는 표 4.2와 같다.

시뮬레이션 사양에서 기지국 안테나의 채널 당 최대 출력을 2[W], 2.5[W], 3[W], 4[W], 6[W]는 기지국 안테나의 최대 출력을 120[W], 최대 채널 수용 용량을 20으로 하여 3[dB] 간격으로 안테나 출력을 조절할 때의 값이다.

표 4.2 기지국 출력에 따른 임의 해상에서의 수신전력

거리 [km]	기지국출력 [W/CH]				
	2 [dBm]	2.5 [dBm]	3 [dBm]	4 [dBm]	6 [dBm]
10	-77.5	-76.5	-75.7	-74.5	-72.7
20	-83.5	-82.5	-81.8	-80.5	-78.7
30	-87.0	-86.1	-85.3	-84.0	-82.3
40	-89.5	-88.6	-87.7	-86.5	-84.8
50	-91.5	-90.5	-89.7	-88.5	-86.7
60	-93.1	-92.1	-91.3	-90.0	-88.3
70	-94.4	-93.4	-92.6	-91.4	-89.6
80	-95.6	-94.6	-93.8	-92.5	-90.8
90	-96.6	-95.6	-94.8	-93.6	-91.8
100	-97.5	-96.5	-95.7	-94.5	-92.7
110	-98.3	-97.4	-96.6	-95.3	-93.5
120	-99.1	-98.1	-97.3	-96.1	-94.3

시뮬레이션 결과, 서비스 가능 수신전력을 -94[dBm]으로 기준할 때(단,  $E_c/I_0$ 는 무시), 기지국 출력 2[W], 2.5[W], 3[W], 4[W], 6[W]에 대응한 최대 서비스 가능 이룬 거리와 서비스 가능 거리 그리고 서비스 가능거리 대비 이룬 거리의 증가율은 표 4.3과 같다.

표 4.3 기지국 출력에 따른 이동통신서비스 최대 서비스 이룬 거리

채널 당 서비스 가능 거리 [km]	기지국 출력 [W]	기지국 안테나 실효 해발고[m]											
		100		200		300		400		500		600	
		서비스 가능 거리 [km]	서비스 가능 거리 대비 [%]	서비스 가능 거리 [km]	서비스 가능 거리 대비 [%]	서비스 가능 거리 [km]	서비스 가능 거리 대비 [%]	서비스 가능 거리 [km]	서비스 가능 거리 대비 [%]	서비스 가능 거리 [km]	서비스 가능 거리 대비 [%]	서비스 가능 거리 [km]	서비스 가능 거리 대비 [%]
2	60	48	125	65	92	78	77	89	67	99	61	107	56
2.5	70	48	146	65	107	78	90	89	79	99	71	107	65
3	80	48	167	65	123	78	103	89	90	99	81	107	75
4	90	48	188	65	139	78	115	89	101	99	91	107	84
6	110	48	229	65	169	78	141	89	124	99	111	107	103

시뮬레이션 결과, 기지국의 출력이 각각 2[W], 2.5[W], 3[W], 4[W], 6[W]이고, 서비스 가능 수신전력을 -94[dBm]으로 기준할 때, 각 기지국 출력에 대응한 서비스 이룬 거리는 60[km], 70[km], 80[km], 90[km], 110[km]였다. 그리고 가시거리 대비 등가 가시거리 경우의 증가율115[%]와는 달리, 서비스 가능 거리 대비 이룬 거리의 경우는 기지국 안테나 높이의 증가에 따라 백분율이 감소하였다.

##### C. fine\_adjust에 의한 서비스 영역 확장

기존 기지국 채널카드의 복조부 384칩 지연으로 가능한 서비스 영역 40[km]를 포함하여 서비스 가능 영역을 더욱 확장하기 위해서 fine\_adjust를 추가하는 경우, 부가된 칩 지연 수에 따른 보상 시간과 서비스 영역 확장 범위를 구하기 위하여 식 (3-9)

를 시뮬레이션한 결과는 표 4.4와 같다.

표 4.4 fine\_adjust 변경에 따른 서비스 영역 확장거리

지연 칩 수	지연 보상 시간[ $\mu$ s]	지연 보상에 따른 서비스 영역 확장거리[km]	총 서비스 가능 거리 [km]
0	0.000	0.000	40.000
40	32.552	4.883	44.883
80	65.104	9.766	49.766
120	97.656	14.648	54.648
160	130.208	19.531	59.531
200	162.760	24.414	64.414
240	195.312	29.297	69.297
280	227.864	34.180	74.180
300	244.140	36.621	76.621
320	260.416	39.062	79.062
330	268.554	40.283	80.283

시뮬레이션 결과, fine\_adjust에 의한 지연 1 칩당 지연 보상 시간은 0.8138[ $\mu$ s], 보상 거리 244.1[m]이다. 따라서 서비스 가능 영역을 기존 40[km]를 포함하여 80[km]로 하기 위해서는 330 칩의 지연이 필요하였다.

## V. 결론

이동통신의 최장 서비스 영역에 따른 기지국 안테나와 최적 출력과 실효 해발고를 구하기 위해 시뮬레이션 한 결과 표 4.1, 표 4.3, 표 4.4를 요약 정리하면 표 5.1과 같다.

표 5.1 시뮬레이션 결과 요약

서비스 가능 거리[km]	지연 칩 수	등가 가지거리 기준 기지국 실효 해발고[m]	기지국 출력 [W/CH]	-94[dBm] 기준 서비스 거리[km]
40	0 이상	64.00	2	60
	0 이상	64.00	2.5	70
	0 이상	64.00	3	80
	0 이상	64.00	4	90
	0 이상	64.00	6	110
50	80 이상	108.86	2	60
	80 이상	108.86	2.5	70
	80 이상	108.86	3	80
	80 이상	108.86	4	90
	80 이상	108.86	6	110
60	160 이상	165.55	2	60
	160 이상	165.55	2.5	70
	160 이상	165.55	3	80
	160 이상	165.55	4	90
	160 이상	165.55	6	110
70	244 이상	234.08	2	60
	244 이상	234.08	2.5	70
	244 이상	234.08	3	80
	244 이상	234.08	4	90
	244 이상	234.08	6	110
80	324 이상	314.45	2	60
	324 이상	314.45	2.5	70
	324 이상	314.45	3	80
	324 이상	314.45	4	90
	324 이상	314.45	6	110

이상의 시뮬레이션 결과, 해상을 대상으로 한 이동통신 서비스 거리에 따른 최적 지연 칩 수, 안테나 실효 해발고 그리고 기지국 출력은 아래와 같다.

- 서비스 가능 거리를 40[km]로 설정하는 경우
  - 기존 기지국 지널카드의 복조부 384칩 지연을 전제하였기 때문에 필요한 지연 칩 수의 최적 값은 0이다.
  - 기지국 안테나 실효 해발고의 최적 값은 64[m]이다.
  - 기지국 출력의 기준 값은 2[W]이다.
- 서비스 가능 거리 50[km]로 설정하는 경우
  - 지연 칩 수의 최적 값은 80이다.
  - 기지국 안테나 실효 해발고의 최적 값은 109[m]이다.
  - 기지국 출력의 기준 값은 2[W]이다.
- 서비스 가능 거리 60[km]로 설정하는 경우
  - 지연 칩 수의 최적 값은 160이다.
  - 기지국 안테나 실효 해발고의 최적 값은 166[m]이다.
  - 기지국 출력의 기준 값은 2[W]이다.
- 서비스 가능 거리 70[km]로 설정하는 경우
  - 지연 칩 수의 최적 값은 244이다.
  - 기지국 안테나 실효 해발고의 최적 값은 235[m]이다.
  - 기지국 출력의 기준 값은 2.5[W]이다.
- 서비스 가능 거리 80[km]로 설정하는 경우
  - 지연 칩 수의 최적 값은 324이다.
  - 기지국 안테나 실효 해발고의 최적 값은 315[m]이다.
  - 기지국 출력의 기준 값은 3[W]이다.

향후, 해상 공간 전파환경에서의 이동통신 서비스를 위한 기지국 건설에 있어서 최적의 조건을 구현하기 위한 예측 모델이 제안되어 계산의 편의를 도모할 수 있도록 하여야 할 것이다.

## [참고 문헌]

- 박창균, "이동통신 시스템 셀 설계를 위한 전파경로 해석" (공학박사학위논문, 전남대학교, 1999), pp.13-17.
- T.Iwama and M.Mizuno, "Prediction of propagation characteristics for microcellular land mobile radio", Proc. ISAP, Sapporo, Japan, 1992, pp.421-424.
- 박종현, 박창균, "도심지역 이동통신의 전파특성 예측 모델", 1996년도 한국통신학회 광주전남지부 학술발표논문지, June 1996, pp.112-142.
- 박성렬, 박창균, 임영석, "이동통신 환경에서의 전파전파 모델", 한국음향학회 논문지, June 1996, pp.89-96.
- 장자영, 김재섭, 박창균, "LMDS 방식의 무선 CATV 전파 경로 손실에 관한 연구", 대한전자공학회 광주전남지부 학술발표회 논문지, Nov. 1997, pp.63-72.
- 이강영, "이동통신과 마이크로파 통신의 실무와 이론", 도서출판 기다리, 1993.
- 강창연, 강민구, 김남, 조형래, "셀룰라 移動通信工學", 북두출판사, 1999, pp.141-142.
- L.B.Milstein and R.A.Litis, "Signal processing for interference rejection in the spread-spectrum communications", IEEE Acoust, Speech, Signal Processing Soc. Mag., April 1986, pp. 18-31
- 김남수, "CDMA 이동통신공학", 대영사, 1999, pp.40-43.
- 이기학, 김천석, 최광재, 신현숙, "전자파 및 안테나 공학", 광문각, 1994, pp.240-243