

# 마이크로셀 이동통신 기지국의 최적 위치 선정에 관한 연구

임금수\*, 박근희\*, 최동우\*, 노순국\*, 김재섭\*\*, 박창균\*\*\*

\* 조선대학교 대학원 전자공학과

\*\* 동강대학 정보통신과

\*\*\* 조선대학교 전자정보통신공학부

## A Study on the Optimal Position Selection of Site for Microcell Mobile Communications

Lim, Kum-Soo\*, Park, Keun-Hee\*, Choi, Dong-Woo\*, Noh, Sun-Kuk\*

Kim, Jae-Sub\*\*, Park, Chang-Kyun \*\*\*

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

\*\* Dept. of Electronic & Information Dongkang College

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

### 요 약

서비스 반경이 1[km]이내인 마이크로셀 방식은 실제 이동국이 70[%]이상 진파 음영지역에 위치하기 때문에, 셀 반경내에 있는 지형과 구조물들에 의해 매우 큰 영향을 받는다. 그러므로, 셀내 지형지물의 형상에 따라 달라지는 전파경로를 추적하여 이동통신 전파환경을 분석함으로써 최적 기지국 위치를 선정할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 이동국이 가시거리 영역의 전파 음영지역 또는 가시거리 영역과 일정 경사각으로 기울어져 있는 비가시거리 영역에 위치한 경우로 구분하고, 삼각해석법에 의해 각 영역에서의 반사횟수와 전파경로를 각각 연산처리하는 알고리즘을 개발하여 마이크로셀 PCS 이동통신 도심 전파환경에서 시뮬레이션하고, 그 결과를 분석함으로써 마이크로셀 이동통신 최적 기지국의 위치 선정 조건을 제시한다.

### 1. 서 론

이동통신 응용 시스템의 최적 셀 설계를 위해서는 특정 생활공간에서의 전파특성에 대한 연구가 우선되어야 하며, 이미 미국, 일본, 유럽 등에서는 이론적 연구와 병행하여 특정 지역에서의 시험측정이 활발히 진행되고 있다.

이동통신에서의 전파전파는 주위의 지형지물 및 인공 구조물로부터의 반사, 회절, 산란 등에 의한 정재파 사이들 이동체가 빠른 속도로 움직이기 때문에 여러 방향으로부터 불규칙한 위상으로 전파가 더해져 복잡한 다중파 특성을 갖는다. 특히 마이크로셀의 전파전파 특성 해석은 매크로셀의 경우보다 지형 지물이 전파특성에 미치는 영향이 크고 다양함으로 통계적으로 처리할 수 있는 일반화된 모델을 만들기 어렵다. [1, 2]

그 동안 이동통신의 보급이 급속도로 확산되면서 이동통신 전파환경에 관한 연구활동이 활발히 전개되어 다중영상 경로추적법과 전파송출법 등이 제시되었으나, 이들 모델은 전파경로 해석에 사용된 전파예측 코드의

구현이 매우 어렵고 계산시간이 많이 소요될 뿐 아니라 연산처리가 불가능하고, 최적 기지국 위치 선정을 위한 구체적인 조건을 제시 못하고 있다는 단점을 갖고 있다. [3, 4]

따라서 본 연구에서는 도심 생활공간 마이크로셀 이동통신 전파환경의 경로추적을 위해 제안된 다중영상 경로추적법에 의한 예측 모델과 전파송출법에 의한 예측 모델의 단점인 전파경로 예측과 해석을 위한 시간을 단축시키고, 더 나아가 가시거리 영역과 비가시거리 영역까지 확장하여 전파의 입사각, 반사각, 도로폭, 교차로의 경사각을 파라미터로 하는 전파경로와 반사횟수를 연산처리하는 알고리즘을 개발하여 마이크로셀 PCS 이동통신 도심 전파환경에서 시뮬레이션하고, 그 결과를 분석함으로써 마이크로셀 이동통신 최적 기지국의 위치 선정 조건을 제시한다.

### II. 기지국 위치 선정을 위한 전파경로 해석 알고리즘

그림 1은 이동국이 가시거리 영역의 직진도로상 또는 직진도로로부터 약간 벗어난 임의의 전파 음영지역에 위치한 경우와, 직진도로와 일정 경사각으로 기울어져 있는 비가시거리 영역의 직진교차로상 또는 그로부터 약간 벗어난 임의의 점에 위치한 경우, 이동국에 도달하는 전파의 입사각과 반사각은 물론 도로폭과 직진 교차로의 경사각 변화에 따라 값을 달리하는 전파의 반사횟수와 전파경로를 삼각법에 의해 해석하고, 제안 예측 모델을 시뮬레이션 하기 위한 가상 전파경로이다.

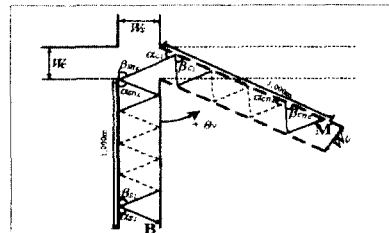


그림 1 전파경로 해석을 위한 가상 모델

그림 1과 같이 이동통신의 기지국으로부터 송신된 전파가 양측 건물벽면에서의 반복된 반사에 의해 가시거리 영역의 직진도로를 따라 진행하다가 가시거리 영역과 일정 경사각으로 기울어진 비가시거리 영역의 직진 교차로에 진입하여 다시 건물벽면에서의 반복된 반사로 교차로상 또는 교차로부터 약간 벗어난 임의의 시점에 위치한 이동국에 도달하기까지 전파의 반사횟수와 전파경로를 해석하기 위한 알고리즘을 제안하기 앞서 다음을 가정한다.

첫째, 기지국 안테나와 이동국 안테나 높이 차는 송신 안테나로부터 수신 안테나까지의 직진경로와 비교할 때, 충분히 작기 때문에 이를 무시한다.

둘째, 전파의 입사각과 반사각이  $10^\circ$  미만인 특별한 경우를 제외하고, 한번의 입사와 반사에 의해 진행되는 전파의 직진경로와 전파경로는 상대적으로 짧기 때문에 그 구간의 도로폭은 일정한 것으로 가정한다.

셋째, 기지국으로부터 이동국에 도래하는 전파는 단 하나의 파수이며 가시거리 영역과 비가시거리 영역의 도로변을 따라 수직인 건물벽면에 의해 반사하고, 반사파의 이동은 수평파인 경우만을 가정한다.

### 가. 가시거리 영역 전파경로 해석 알고리즘

#### 1. 반사파의 직진경로

그림 2는 삼각법에 의해 반사파의 직진경로와 반사횟수 그리고 전파경로를 해석하기 위한 가상 전파경로이다. 도로폭  $W_1$ 이 일정한 직진 도로변을 따라 수직인 건물벽면상 점  $P_0$ 로부터의 반사파가 점  $P_1$ 에  $\alpha_1$ 의 각으로 입사,  $\beta_1$ 의 각으로 반사되어 점  $P_2$ 에 도달할 때까지의 직진경로  $l_1(P_0, P_2)$ 는 전파경로  $r_1(P_0, P_1, P_2)$ 에 대응한 도로와 평행한 직선거리로써 식 (1)과 같다.

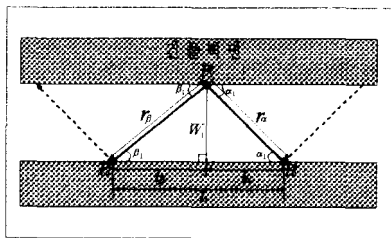


그림 2 알고리즘을 위한 가상 반사파경로

$$l_1 = l_a + l_b = \frac{W_1}{\sin \alpha_1} \cos \alpha_1 + \frac{W_1}{\sin \beta_1} \cos \beta_1$$

$$= W_1 \left( \frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} + \frac{\cos \beta_1}{\sin \beta_1} \right) [m] \quad (1)$$

따라서, 가시거리 영역의 직진 도로변에 있는 양측 건물벽면에 의한 반사파가 기지국의 송신점으로부터 이동국의 수신점에 도달하는 동안, 한쪽 건물벽면 기준  $n_s$  번의 입사와 반사를 하고, 그 때 마다 입사각이  $\alpha_{s, n_s}$ , 반사각이  $\beta_{s, n_s}$  그리고 도로폭이  $W_{s, n_s}$ 인 경우, 가시거리 영역의 직진도로에서 전파가 진행한 직진경로  $l_{s, n_s}$ 는 식 (1)을 확대 해석하여 구할 수 있고, 그 결과는 식 (2)와 같다.

$$l_{s, n_s} = \sum_{n_s=1}^{m_s} W_{s, n_s} \left( \frac{\cos \alpha_{s, n_s}}{\sin \alpha_{s, n_s}} + \frac{\cos \beta_{s, n_s}}{\sin \beta_{s, n_s}} \right) [m] \quad (2)$$

#### 2. 반사파의 전파경로

그림 2와 같이 도로폭  $W_1$ 이 일정한 직진도로를 따라 수직인 건물벽면상 점  $P_0$ 로부터의 반사파가 점  $P_1$ 에  $\alpha_1$ 의 각으로 입사,  $\beta_1$ 의 각으로 반사되어 점  $P_2$ 에 도달할 때까지의 전파의 전파경로  $r_1(P_0, P_1, P_2)$ 는 전파의 직진경로  $l_1(P_0, P_2)$ 에 대응한 전파의 실제 이동거리로써 식 (3)과 같다.

$$r_1 = r_a + r_b = \frac{W_1}{\sin \alpha_1} + \frac{W_1}{\sin \beta_1} [m] \quad (3)$$

따라서, 가시거리 영역을 따라 진행되는 전파가 송신점으로부터 수신점에 도달하는 동안 한쪽 건물벽면 기준  $n_s$  번의 입사와 반사를 하고, 그 때 마다 입사각이  $\alpha_{s, n_s}$ , 반사각이  $\beta_{s, n_s}$  그리고 도로폭이  $W_{s, n_s}$ 인 경우, 가시거리 영역의 직진도로에서 전파가 실제 이동한 전파경로  $r_{s, n_s}$ 는 식 (3)을 확대 해석하여 구할 수 있고, 그 결과는 식 (4)와 같다.

$$r_{s, n_s} = \sum_{n_s=1}^{m_s} W_{s, n_s} \left( \frac{\sin \alpha_{s, n_s} + \sin \beta_{s, n_s}}{\sin \alpha_{s, n_s} \sin \beta_{s, n_s}} \right) [m] \quad (4)$$

### 나. 비가시거리 영역 전파경로 해석 알고리즘

#### 1. 전파의 입사각과 파수비

그림 1의 기지국으로부터 송신된 전파는 반복된 반사에 의해 가시거리 영역과 일정 경사각을 갖는 직진 교차로의 비가시거리 영역에 진입하고, 진입한 전파의 입사각과 파수분포는 가시거리 영역 전파의 최종반사각에 따라 직각 나뉜다.

그림 1에서 반사각  $\beta_{s, n_s}$ 인 가시거리 영역 양측 건물벽면으로부터의 최종 반사파가 가시거리 영역과  $\theta_n^\circ$ 의 임의의 경사각을 이룬 비가시거리 영역 건물벽면에 도래할 때, 전파의 최종 입사각  $\alpha_{c1}$ 은 식 (5)와 같다.

$$\alpha_{c1} = 180 - [\beta_{s, n_s} + \theta_n] [\text{degree}] \quad (5)$$

여기서,  $\theta_n^\circ$ 는 가시거리 영역과 교차하는 비가시거리 영역의 경사각으로써, 6시 방향을 "0"으로 기준하여 반시계 방향으로 회전할 때 "1"로 한다.

#### 2. 반사파의 직진경로

기지국으로부터 송신된 전파가 그림 1과 같이 도로폭  $W_{n_s}$ 인 가시거리 영역에서 임의의 입사각과 반사각으로  $n_s$ 번 반사한 전파가 도로폭  $W_{c1}$ 인 비가시거리 영역에 진입하여, 다시 임의의 입사각과 반사각으로  $n_c$ 번 반사하여 이동국까지 도래하는 동안 전파의 총 직진

경로  $l_n$  은 식 (6)과 같다.

$$l_n = l_{s_n} + l_{c_n} + \sum_{n_i=1}^m W_{c_n} \left( \frac{\cos \alpha_{c_n}}{\sin \alpha_{c_n}} + \frac{\cos \beta_{c_n}}{\sin \beta_{c_n}} \right) \\ = \sum_{n_i=1}^m W_{s_n} \left( \frac{\cos \alpha_{s_n}}{\sin \alpha_{s_n}} + \frac{\cos \beta_{s_n}}{\sin \beta_{s_n}} \right) \quad [m] \quad (6)$$

### 3. 반사파의 전파경로

기시국으로부터 송출된 전파가 그림 1과 같이 도로폭  $W_{s_n}$ 인 가시거리 영역에서 임의의 입사각과 반사각으로  $n_s$ 번 반사한 전파가 도로폭  $W_{c_n}$ 인 비가시거리 영역에 진입하여, 다시 임의의 입사각과 반사각으로  $n_c$ 번 반사하여 이동국까지 도래하는 동안 반사파의 총 전파경로  $r_n$ 은 식 (7)과 같다.

$$r_n = r_{s_n} + r_{c_n} \\ = \sum_{n_s=1}^m W_{s_n} \left( \frac{\sin \alpha_{s_n} + \sin \beta_{s_n}}{\sin \alpha_{s_n} \sin \beta_{s_n}} \right) \\ + \sum_{n_c=1}^m W_{c_n} \left( \frac{\sin \alpha_{c_n} + \sin \beta_{c_n}}{\sin \alpha_{c_n} \sin \beta_{c_n}} \right) [m] \quad (7)$$

## III. 시뮬레이션

### 가. 가시거리 영역 전파경로

시뮬레이션 조건으로 가시거리 영역의 양측 건물벽면에서 이루어지는 반사를 정반사로 가정하고, 가시거리 영역 이동국까지의 직진경로가 1[km]이다.

#### 1. 반사파의 직진경로

입사각과 반사각 그리고 도로폭의 변화에 따라 값을 달리하는 전파의 2번 반사에 대응한 직진경로와 전파가 이동국까지 도래하는 동안 발생하는 반사횟수를 식 (2)를 이용하여 구한 결과는 표 1과 같다.

표 1 입사각, 반사각, 도로폭에 따른 직진경로와 반사횟수의 비교

도로폭 [m]	2번 반사 직진경로 [m]			반사횟수		
	최대	최소	평균 직진경로	최대	최소	평균 반사횟수
10	228.6	1.7	40.6	1143	8	202.8
20	457.2	3.5	81.3	571	4	101.4
30	685.9	5.2	122.0	381	3	67.2
40	914.4	7.0	162.6	285	2	50.2

#### 2. 반사파의 전파경로

전파가 이동국까지 도래하는 동안 입사각과 반사각 그리고 도로폭의 변화에 따라 값을 달리하는 전파경로를 식 (4)를 이용하여 구한 결과는 표 2와 같다.

표 2 도로폭에 따른 전파경로의 비교

도로 폭 [m]	전파경로 [m]			도로 폭 [m]	전파경로 [m]		
	최대	최소	평균 전파 경로		최대	최소	평균 전파 경로
10	11474	1004	2470	30	11474	1004	2470
20	11474	1004	2470	40	11474	1004	2470

### 나. 비가시거리 영역 전파경로

시뮬레이션 조건으로 가시거리 영역과 비가시거리 영역에서 일어나는 전파의 반사는 모두 정반사이고, 도로폭은 동시에 변화해 두 영역의 직진경로를 각각 1[km]로 가정한다.

#### 1. 전파의 입사각과 파수비

가시거리 영역 도로변 양측 건물벽면을 따라 진행한 전파가 최종 반사각  $\beta_{s_n}$ 로 경사각  $\theta_n$ 의 비가시거리 영역에 진입할 때, 최종 반사각과 경사각에 따라 그 값을 달리하는 비가시거리 영역 전파의 최소 입사각  $\alpha_{c_n}$ 과 입사한 전파의 유효·부효 파수비율을 구하기 위해 식 (5)을 해석한 결과는 그림 1과 같다.

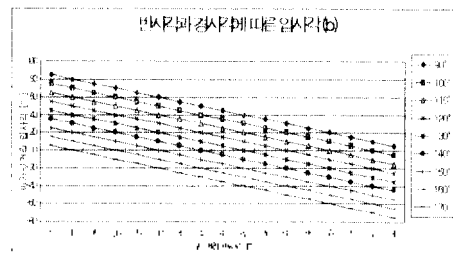
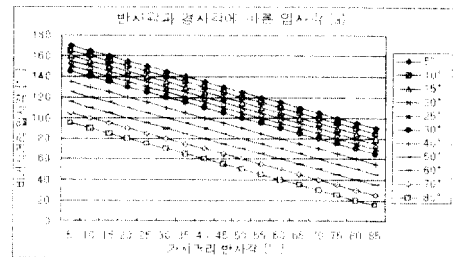


그림 1 경사각과 반사각에 따른 입사각

그림 1(a)는 경사각 90° 미만에서 비가시거리 영역에 진입한 전파의 입사각으로써 유효파수가 100% 미만인 경우이고, 그림 2(b)는 경사각 90° 이상에서 비가시거리 영역에 진입한 전파의 입사각으로써 유효파수가 100%인 경우이다.

그림 1의 결과를 구체적으로 비교하기 위해 가시거리 영역 최종 반사파의 반사각 범위가 5° ~ 85° 이고, 비가시거리 영역의 경사각 범위가 5° ~ 170° 일 때, 반사에 의해 비가시거리 영역에 진입한 전파의 유효·부효 파수비와 유효파수의 백분율 중, 가입자 서비스 백분율을 정리한 결과는 표 3과 같다.

표 3 경사각에 따른 파수비와 서비스율

경사각 [°]	유·무 서비스율 [%]		파수비	서비스율 [%]	경사각 [°]	유·무 서비스율 [%]		파수비	서비스율 [%]	경사각 [°]	유·무 서비스율 [%]		파수비	서비스율 [%]
	유	무				유	무				유	무		
5	0	17	0	65	12	5	70.6	125	17	0	100			
10	1	16	6.3	70	13	4	76.5	130	17	0	100			
15	2	15	11.8	75	14	3	82.4	135	17	0	100			
20	3	14	17.6	80	15	2	88.2	140	17	0	100			
25	4	13	23.5	85	16	1	94.1	145	17	0	100			
30	5	12	29.4	90	17	0	100	150	17	0	100			
35	6	11	35.3	95	17	0	100	155	17	0	100			
40	7	10	41.2	100	17	0	100	160	17	0	100			
45	8	9	47.1	105	17	0	100	165	17	0	100			
50	9	8	52.9	110	17	0	100	170	17	0	100			
55	10	7	58.8	115	17	0	100	175	17	0	100			
60	11	6	64.7	120	17	0	100	180	17	0	100			

2. 반사파의 직진경로

입사각과 반사각 그리고 도로폭과 경사각에 따라 값을 달리하는 각 영역에서의 반사횟수와 총 반사횟수를 식(6)을 이용하여 구한 결과는 표4와 같다.

표 4 경사각, 도로폭, 반사각, 입사각에 따른 총 반사횟수 비교

경사각 [°]	최적 반사각 [°]	도로폭 10 [m]				도로폭 30 [m]				
		총 반사횟수			평균 반사횟수	최적 반사각 [°]	총 반사횟수			평균 반사횟수
		최소	최대	차			최소	최대	차	
90	45	198	1151	953	405.5	45	66	383	317	134.5
100	40	166	1151	985	305.4	40	54	383	329	101.1
110	35	140	1169	1029	253.4	35	46	389	343	89.2
120	30	114	1189	1075	259.4	30	38	396	358	83.2
130	25	92	1214	1122	244.1	25	30	404	374	80.6
140	20	72	1242	1170	244.1	20	23	414	361	80.6
150	15	52	1285	1233	251.9	15	16	428	412	83.2
160	10	34	1357	1323	269.9	10	10	452	442	89.2
170	5	16	1516	1500	305.4	5	4	505	501	101.1

경사각 [°]	최적 반사각 [°]	도로폭 20 [m]				도로폭 40 [m]				
		총 반사횟수			평균 반사횟수	최적 반사각 [°]	총 반사횟수			평균 반사횟수
		최소	최대	차			최소	최대	차	
90	45	98	575	477	302.2	45	48	287	239	100.5
100	40	82	575	493	147.3	40	40	287	247	75.5
110	35	69	584	515	134.4	35	34	291	257	66.6
120	30	56	594	538	125.5	30	28	296	268	62.2
130	25	46	606	560	121.6	25	22	302	280	60.2
140	20	36	626	584	121.6	20	17	309	292	60.2
150	15	26	642	616	125.5	15	12	320	308	62.2
160	10	16	678	662	134.5	10	8	338	330	66.6
170	5	8	757	749	152.2	5	4	378	374	75.5

3. 반사파의 전파경로

입사각과 반사각 그리고 도로폭과 경사각에 따라 값을 달리하는 가지거리 영역과 비가지거리 영역에서의 전파경로와 총 전파경로를 식(7)을 이용하여 구한 결과는 표5와 같다.

표 5 경사각에 대한 최적 반사각과 전파경로

경사각 [°]	최적 반사각 [°]	총 전파경로 [m]			총 전파경로 평균 [m]
		최저	최고	차	
90	45	2828	12478	9650	4941
100	40	2611	12478	9867	4035
110	35	2442	12509	10067	3767
120	30	2309	12577	10268	3638
130	25	2207	12696	10488	3583
140	20	2128	12888	10760	3583
150	15	2071	13217	11146	3638
160	10	2031	13840	11809	3767
170	5	2008	15337	13329	4046

IV. 결론

마이크로셀 이동통신 방식은 실제 이동국이 70%이상 전파 음영지역에 위치하기 때문에, 셀 반경내에 있는 지형과 구조물들에 의해 매우 큰 영향을 받는다. 그러므로, 셀내 지형지물의 형상에 따라 달라지는 전파경로를 추적하여 이동통신 전파환경을 분석함으로써 최적 기지국 위치를 선정할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 이동국이 가지거리 영역의 전파 음영지역 또는 가지거리 영역과 일정 경사각으로 기울어져 있는 비가지거리 영역에 위치한 경우로 구분하고, 삼각해석법에 의해 각 영역에서의 반사횟수와 전파경로를 각각 연산처리하는 알고리즘을 개발하여 마이크로셀 PCS 이동통신 도심 전파환경에서 시뮬레이션하였고, 그 결과를 분석함으로써 마이크로셀 이동통신 최적 기지국의 위치 선정 조건을 아래와 같이 제시하였다.

가. 가지거리 영역 전파경로 해석

1. 반사파의 직진경로

표 1의 결과, 기지국으로부터 송신된 전파가 반복된 반사에 의해 가지거리 영역 전파 음영지역에 위치한 이동국에 도래하는 경우, 도로폭이 넓을수록 입사각과 반사각의 변화에 따른 전파의 평균 반사횟수가 적고 변화폭이 커지기 때문에 전파의 경로손실이 적어진다. 따라서 이동통신의 기지국 위치 선정은 주변 도로상황과 밀접한 관계가 있다.

2. 반사파의 전파경로

표 2의 결과, 기지국으로부터 송신된 전파가 반복된 반사에 의해 가지거리 영역 전파 음영지역에 위치한 이동국에 도래하는 경우, 전파경로의 최대·최소차는 도로폭에 관계없이 일정하고 전 입사각과 반사각에 대한 평균 전파경로 또한 일정하다. 따라서 도로폭은 반사횟수만에 영향을 미칠 뿐 전파경로와는 전혀 무관하다.

## 나. 비가시거리 영역 전파경로 해석

### 1. 전파의 입사각과 파수비

표 3의 결과, 경사각이 5° 미만인 경우는 기지거리 영역의 전파의 최종 반사각에 관계없이 비가시거리 영역에 진입한 모든 전파가 역반사하여 유효파수가 되므로 이동통신 가입자 서비스가 전혀 불가능하나, 경사각의 증가에 비례하여 유효파수도 많아지므로 서비스는 향상되고, 경사각 90° 이상에서는 진입한 모든 전파가 유효파수가 되어 100% 가입자 서비스가 가능하다.

이상의 결과, 기지거리 영역의 전파가 반복된 반사에 의해 일정 경사각을 갖는 비가시거리 영역에 진입하는 경우, 가입자 서비스를 충족시키기 위한 유효파수비를 100%로 기준할 때 경사각은 최소 90° 이상이어야 한다.

### 2. 반사파의 직진경로

표 4의 결과, 기지국으로부터 송신된 전파가 반복된 반사에 의해 비가시거리 영역에 위치한 이동국에 도래하는 경우, 전파의 유효파수가 100[%]이고, 모든 입사각에 대한 평균 수신전력을 최대로 할 수 있는 경사각은 135° ~ 140° 사이이다. 따라서 마이크로셀 기지국 위치는 서비스 영역의 도로상황과 주변 교차로의 경사각을 충분히 고려하여 선정되어야 한다.

### 3. 반사파의 전파경로

표 5의 결과, 기지국으로부터 송신된 전파가 반복된 반사에 의해 비가시거리에 위치한 이동국에 도래하는 경우, 수신점까지의 총 전파경로를 최소화하여 전파경로 손실을 줄이기 위해서는 주변도로의 경사각을 135° + 5°로 할 수 있는 위치에 기지국이 있어야 하고, 만不得已한 경우는 경사각이 90° 이상 되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Joseph sarnecki, C.Vinodrai,Alauddin Javed, Patrick O'kelly and Kevin Dick, "Microcell Design Principles", IEEE Communications Magazine, pp.76-82, April 1993.
- [2] F.lkegani, T.Takeuychi, and S.Yoshida, "Theoretical prediction of mean field strength for urban mobile radio", IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.AP 39, pp.299-302,1991.
- [3] T.Iwama and M.Mizumo, "Prediction of propagation characteristics for microcellular land mobile radio", Proc. ISAP, pp.421-424, Sapporo, Japan,1992.
- [4] V.Erceg, S.Ghassemzadh, M.Taylor, D.Li, and D.L.Schilling, "Urban/suburban out-of-sight propagation modeling", IEEE Comm. Mag., pp.56-61, Jun.1992.
- [5] S. Y. Tan and H. S. Tan, "A microcellular communications propagation model based on the uniform theory of diffraction and multiple image theory," IEEE Trans., Antennas Propagat., Vol.44, pp. 1317-1326, Oct., 1996
- [6] K. R. Schaubach, N. J. Davis, IV, and T. S. Rappaport, "A ray tracing method for predicting path loss and delay spread in microcellular environments", in 42nd IEEE Veh Technol. Conf., Denver, CO., May. 10-13, 1992, Vol. 2, pp. 932-935
- [7] V. Erceg, S. Ghassemzadeh, M. Taylor, D.Li, and D. L.Schilling, "Urban/suburban out-of-sight propagation modeling", IEEE Communicat. Mag.,vol. 30, pp. 56-61,June 1992.
- [8] H. H. Xia, et al, "Radio propagation characteristics for line-of-sight microcellular and personal communications".

IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 41,pp.1439-1447,Oct. 1993.

- [9] Grey Lampard,Tuong Vu Dinh,"The Effect of Terrain on Radio in Urban Microcells", in Proc., IEEE, pp.314-317., Nov., 1993.
- [10] F.lkegani, T.Takeuychi, and S.Yoshida, "Theoretical prediction of mean field strength for urban mobile radio", IEEE Trans.Antennas Propagat., Vol.AP 39, pp.299-302,1991.
- [11] 박성렬, "도심 지역의 전파전파 예측모델" 공학박사 학위논문, (조선대학교,1995년)
- [12] 김승민, 박창권, "이동통신의 음영지역 전파환경 개선", 한국응용 학회 Vol. 15 No. 3., pp. 89-96,1996.
- [13] 김세운,김상옥, "임의의 교차각을 갖는 도심 도로에서 PCS를 위한 GTD 전파모델", Telecommunication Review, 제 6권, 제 3 호, pp.208-220, 1996.5.
- [14] 장광복,김효태, "전파충돌면의 개선효율 개선에 관한 연구", Telecommunication Review, 제6권, 제3호, pp.698-714, 1996.
- [15] M. C Lawton and J. P. McGeehan, "The applications of a deterministic ray launching algorithm for the prediction of radio channel characteristics in small cell environments", IEEE Trans. Veh Technol., vol. 43, pp. 965-969, Nov.1994.