

이동통신 마이크로셀의 전파예측 모델에 관한 연구

최동유*, 최동우*, 김영곤*, 노순국*, 박창균**

* 조선대학교 대학원 전자공학과

** 조선대학교 전자정보통신공학부

A Study on the Propagation Prediction Model for Microcell in Mobile Communications

Choi, Dong-You*, Choi, Dong-Woo*, Kim, Young-Gon*, Noh, Sun-Kuk*, Park, Chang-Kyun**

* Dept. of Electronic Engineering Graduate School Chosun University.

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

요 약

서비스 반경이 1 km 이내인 마이크로셀 방식은 기지국의 송신출력을 가능한 작게 하고 안테나의 위치를 주변 건물의 높이보다 낮게 설치하기 때문에 셀 반경내에 있는 지형과 구조물들은 전파특성에 매우 큰 영향을 주므로 셀 내 지형지물의 특성에 따라 기지국의 최적 출력을 구할 수 있는 전파예측 모델이 필요하다.

본 연구에서는 이동국이 가시거리 영역의 전파 음영지역 또는 가시거리 영역과 일정 경사각으로 기울어져 있는 비가시거리 영역에 위치한 경우로 구분하고, 기지국으로부터 송신된 신호가 이동국까지 일정 직진경로를 전파하는 동안, 전파의 반사횟수와 전파경로를 계산할 수 있는 연산처리 알고리즘을 개발하여, 이를 응용함으로써 임의 지점에 위치한 이동국에 도래하는 수신전력을 예측할 수 있는 모델을 제안한다.

그리고, 마이크로셀 이동통신 전파환경에서 개발 알고리즘과 제안 전파예측 모델을 시뮬레이션하여, 그 결과를 분석함으로써 마이크로셀 기지국의 최적 위치선정 조건과 기지국 출력에 따른 가입자 서비스 조건을 제시한다.

I. 서 론

서비스 반경이 1 km 이내인 마이크로셀 방식은 매크로셀 방식과는 달리 인접 셀 사이의 간섭을 최소로 하기 위해 기지국의 송신출력을 가능한 작게 하고 안테나의 위치를 주변 건물의 높이보다 낮게 설치하기 때문에 셀 반경내에 있는 지형과 구조물들은 전파특성에 매우 큰 영향을 준다.^[1-4] 따라서 저비용 고효율의 마이크로셀 시스템 설계를 위해서는 셀 내 지형지물의 특성에 따라 기지국의 최적 출력을 구할 수 있는 전파예측 모델이 필요하다.^[5-10] 이를 위해 발표된 대표적 모델로서 다중영상 경로추적법^[11-12]과 전파송출법^[13-15]에 의한 전파예측모델이 있으나 이들 모델은 계산이 복잡하여 연산처리가 불가능하며 수신전력 예측에 많은 시간이 소요되거나 불가능하다.

따라서, 본 연구에서는 다중영상 경로추적법과 전파송출법에 의한 전파예측 모델의 단점을 보완하기 위해 삼각해석법에 의해 전파경로를 해석하여, 기지국으로부터 송신된 신호가 이동국까지 일정 직진경로를 전파하는 동안, 입사각, 반사각, 도로폭, 그리고 비가시거리 영역의 경사각에 따라 값이 달라지는 반사횟수와 전파경로를 계산할 수 있는 연산처리 알고리즘을 개발하고, 이를 이용하여 임의 지점에 위치한 이동국에 도래하는 수신전력을 예측할 수 있는 모델을 제안한다.

그리고, 마이크로셀 PCS 이동통신 도심 전파환경에서 개발 알고리즘과 제안 전파예측 모델을 시뮬레이션하고, 그 결과를 분석함으로써 마이크로셀 기지국의 최적 위치선정 조건과 기지국 출력에 따른 가입자 서비스 조건을 제시한다.

II. 전파경로 해석을 위한 알고리즘 및 전파예측모델 제안

그림 1은 이동국이 가시거리 영역의 직진도로로부터 약간 벗어난 임의의 전파 음영지역에 위치한 경우와, 직진도로와 일정 경사각 θ_v 로 기울어져 있는 비가시거리 영역의 직진교차로 상 또는 그로부터 약간 벗어난 임의의 점에 위치한 경우, 이동국에 도래하는 전파의 입사각과 반사각은 물론 도로폭과 직진교차로의 경사각 변화에 따라 값을 달리하는 전파의 반사횟수와 전파경로를 삼각법에 의해 해석하고, 제안 예측 모델을 시뮬레이션하기 위한 가상 전파경로이다.

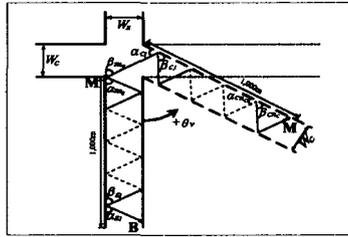


그림 1 전파경로 해석을 위한 가상 모델

임의의 지점에 위치한 이동국에 도달하기까지 전파의 반사횟수와 전파경로를 해석하기 위한 알고리즘을 제안하기 앞서 다음을 가정한다.

첫째, 기지국 안테나와 이동국 안테나 높이 차는 송신안테나로부터 수신안테나까지의 직진경로와 비교할 때, 충분히 작기 때문에 무시한다.

둘째, 전파가 한번의 입사와 반사에 의해 진행하는 동안 그 구간의 도로폭은 일정한 것으로 가정한다.

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

1. 가시거리 영역과 비가시거리 영역을 포함한 전파경로 해석 알고리즘

1.1 반사파의 직진경로와 총 반사횟수

전파가 그림 1과 같이 도로폭 W_{sm} 인 가시거리 영역에서 n_s 번 반사한 후 도로폭 W_{cn} 인 비가시거리 영역에 진입하고, 다시 n_c 번 반사하여 이동국까지 도래하는 동안 전파의 총 직진경로 l_n 은 식 (1)과 같다.

$$l_n = \sum_{s=1}^{n_s} W_{sm} \left(\frac{\cos \alpha_{sm}}{\sin \alpha_{sm}} + \frac{\cos \beta_{sm}}{\sin \beta_{sm}} \right) + \sum_{c=1}^{n_c} W_{cn} \left(\frac{\cos \alpha_{cn}}{\sin \alpha_{cn}} + \frac{\cos \beta_{cn}}{\sin \beta_{cn}} \right) [m] \quad (1)$$

가시거리 영역 최종 반사각에 대응한 비가시거리 영역의 최초 입사각은 식 (2)와 같다.

$$\alpha_{c1} = 180 - [\beta_{s, n_s} + \theta_v] [\text{degree}] \quad (2)$$

여기서, θ_v 는 도로의 교차각으로써, 6시 방향을 "0" 으로 기준하여 반시계 방향으로 회전할 때 "+" 로 한다.

1.2. 반사파의 총 전파경로

전파가 그림 1과 같이 도로폭 W_{sm} 인 가시거리 영역에서 n_s 번 반사한 후, 도로폭 W_{cn} 인 비가시거리 영역에 진입하여, 다시 n_c 번 반사하여 이동국까지 도래하는 동안 반사파의 총 전파경로 r_n 은 식 (3)과 같다.

$$r_n = \sum_{s=1}^{n_s} W_{sm} \left(\frac{\sin \alpha_{sm} + \sin \beta_{sm}}{\sin \alpha_{sm} \sin \beta_{sm}} \right) + \sum_{c=1}^{n_c} W_{cn} \left(\frac{\sin \alpha_{cn} + \sin \beta_{cn}}{\sin \alpha_{cn} \sin \beta_{cn}} \right) [m] \quad (3)$$

1.3 반사계수

전파의 반사는 정반사로써 각 α_{n_i} 라 가정하고, 사용편파가 수직편파인 경우, 반사계수는 식 (4) 과 같다.^[11]

$$\Gamma(\alpha_{n_i}) = \frac{\sin(\alpha_{n_i}) - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2(\alpha_{n_i})}}{\sin(\alpha_{n_i}) + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2(\alpha_{n_i})}} \quad (4)$$

여기서, $\epsilon_r' = 15$, $\sigma = 2^{[13]}$, λ 는 1.8 GHz대역의 PCS 이동통신 주파수 파장인 0.167m로 하여 $\epsilon_r = \epsilon_r' - j 60 \sigma \lambda = 25$ 를 구하고, 이를 식 (4) 에 대입하여 입사각과 반사각에 따른 반사계수를 구한 결과는 표 1과 같다.

표 1 입사각, 반사각에 따른 반사계수

입사각, 반사각	반사계수	입사각, 반사각	반사계수
0°	-1	45°	-0.75
5°	-0.965	50°	-0.7324
10°	-0.9316	55°	-0.7169
15°	-0.8998	60°	-0.7035
20°	-0.8698	65°	-0.6922
25°	-0.8417	70°	-0.683
30°	-0.8156	75°	-0.6758
35°	-0.7917	80°	-0.6707
40°	-0.7698	85°	-0.6677

2. 가시거리 전파 음영지역을 위한 전파예측 모델
 광대역 경로 손실 L_{SWB} 을 식 (3)을 이용하여
 구하면 식 (4)와 같다.

$$L_{SWB} = 20 \log \left\{ \sum_{n=1}^m \frac{\lambda \sin \alpha_{sn} \sin \beta_{sn}}{4\pi W_{sn} (\sin \alpha_{sn} + \sin \beta_{sn})} \Gamma_n \right\}$$

$$= 20 \log \left\{ \sum_{n=1}^m \frac{\lambda}{4\pi r_{sn}} \Gamma_n \right\} [\text{dB}] \quad (4)$$

기지국의 실효 방사전력을 P_t 라 할 때, 식 (4)
 를 이용하여 이동국의 수신전력 P_{rn} [W, dBm]를
 구하면 식 (5), 식 (6)과 같다.

$$P_{rn} = P_t \left\{ \sum_{n=1}^m \frac{\lambda \sin \alpha_{sn} \sin \beta_{sn}}{4\pi W_{sn} (\sin \alpha_{sn} + \sin \beta_{sn})} \Gamma_n \right\}^2$$

$$= P_t \left\{ \sum_{n=1}^m \frac{\lambda}{4\pi r_{sn}} \Gamma_n \right\}^2 [\text{W}] \quad (5)$$

$$P_{rn} = 20 \log P_t \times 10^3 \left\{ \sum_{n=1}^m \frac{\lambda \sin \alpha_{sn} \sin \beta_{sn}}{4\pi W_{sn} (\sin \alpha_{sn} + \sin \beta_{sn})} \Gamma_n \right\}$$

$$= 20 \log P_t \times 10^3 \left\{ \sum_{n=1}^m \frac{\lambda}{4\pi r_{sn}} \Gamma_n \right\} [\text{dBm}] \quad (6)$$

3. 비가시거리 영역을 위한 전파예측 모델

광대역 경로 손실 L_{CWB} 를 식 (3)을 이용하여
 구하면 식 (7)과 같다.

$$L_{CWB} = 20 \log \sum_{n=1}^m \sum_{n_c=1}^m \frac{\lambda}{4\pi (r_{sn} + r_{cn_c})} \Gamma_n \Gamma_{n_c}$$

[dB] (7)

기지국의 실효 방사전력을 P_t 라 할 때, 식
 (7)을 이용하여 이동국의 수신전력 P_{rc} [W, dBm]
 를 구하면 식 (8), 식 (9)와 같다.

$$P_{rc} = P_t \sum_{n=1}^m \sum_{n_c=1}^m \left\{ \frac{\lambda}{4\pi (r_{sn} + r_{cn_c})} \Gamma_n \Gamma_{n_c} \right\}^2 [\text{W}] \quad (8)$$

$$P_{rc} = 20 \log P_t \sum_{n=1}^m \sum_{n_c=1}^m \frac{10^3 \lambda}{4\pi (r_{sn} + r_{cn_c})} \Gamma_n \Gamma_{n_c}$$

[dBm] (9)

4. 제안 전파예측 모델의 시뮬레이션 사양

제안 전파예측 모델을 시뮬레이션하기 위해
 도심 생활공간 1.8 GHz대역의 마이크로셀 PCS 이
 동통신 전파환경을 선택한다.

시뮬레이션에 앞서, 도심 생활공간 전파환경의
 양측 건물벽면을 따라 반사한 수평파의 반사계수
 를 구하고, 그림 1의 가상 전파경로와 표 2의 사
 양으로 제안 모델 식 (9)를 시뮬레이션한다.

표 2. 시뮬레이션 사양

가상전파경로	그림 1
전파환경	도심 마이크로셀 PCS 이동통신
사용주파수 및 전파파장	1.8 [GHz], 0.167 [m]
실효 방사전력	250 [mW], (PCS CH당 최대전력)
송·수신안테나 높이차	0[m], ($h_t - h_r$)
수신신호의 파수	1 개
직진경로 기준 서비스 가능거리	0 [m] ~ 2,000 [m]
시뮬레이션 전파 직진경로 구간	200[m], 400[m], 600[m], 800[m], 1000[m], 1,200[m], 1,400[m], 1,600[m], 1800[m] 2,000[m]
가시거리 영역 입사각, 반사각	25° (정반사의 경우)
비가시거리 영역 경사각	5° ~ 170°
도로 폭	10 [m], 20 [m], 30 [m], 40 [m]
반사면 비유전율	25, ($\epsilon_r = 15, \sigma = 2,$ $\lambda = 0.166$)
반사계수	표 1

III. 시뮬레이션

그림 1과 같은 마이크로셀 PCS 이동통신 도심
 전파환경의 가상 전파경로에서 수신점의 전력 dB
 m을 구하기 위해 표 2의 사양으로 식 (9)를 시뮬
 레이션한 결과는 표 3과 같다.

시뮬레이션 결과의 실용성과 신뢰도를 높이기
 위해, 도로폭이 각각 10 m, 20 m, 30 m, 40 m인
 경우로 나누고, 가시거리 영역과 비가시거리 영역
 직진경로의 혼성비를 1:1로 하여, 각각 200 m:
 200 m, 300 m:300 m, 400 m:400 m, 500 m:500
 m, 600 m:600 m, 700 m:700 m, 800 m:800 m,
 900 m:900 m, 1,000 m:1,000 m 인 10가지 경우로
 세분하여 시뮬레이션한다. 단, 가시거리 영역과
 비가시거리 영역의 도로폭은 동일한 폭으로 동시
 에 변하는 것으로 한다.

표 3의 경사각 60° 미만에서 수신전력 기록 난
 을 무데이터로 처리한 것은 가시거리 영역 최종
 반사각이 25° 일 때, 비가시거리 영역에 진입한
 모든 전파가 역반사 하여 유효파수가 없기 때문
 이다. 한편, 음영처리된 부분은 이동국이 양질의
 서비스를 받을 수 없는 경우로서 수신전력이 -95
 dBm 이하인 경우이고, 구형으로 처리된 부분은
 경사각 130°~140° 사이에서 수신전력이 최대로
 되는 경우이다.

표 3. 직진경로에 따른 수신전력([dBm], 직진경로 200[m]~2,000[m], 입사각, 반사각25°)

총직진 경로[m]	예측 거리 [m]	경사각																
		도로폭	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170			
400	가시 거리 200	10[m]	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
		20[m]	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
		30[m]	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
		40[m]	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
	비가시 거리 200	10[m]	-	-	-	92	74	64	56	51	49	49	51	56	64	-	-	-
		20[m]	-	-	-	83	68	58	53	48	46	45	45	46	48	53	-	-
		30[m]	-	-	-	71	60	53	49	47	45	44	44	44	45	47	49	-
		40[m]	-	-	-	64	56	50	47	45	44	44	44	44	45	47	49	-
600	가시 거리 300	10[m]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		20[m]	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
		30[m]	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
		40[m]	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	비가시 거리 300	10[m]	-	-	-	-	93	77	65	59	56	56	59	65	77	-	-	-
		20[m]	-	-	-	-	83	69	61	55	52	50	50	52	55	61	-	-
		30[m]	-	-	-	-	86	71	61	57	52	50	49	49	50	52	57	-
		40[m]	-	-	-	-	78	65	58	54	50	49	48	48	49	50	54	-
800	가시 거리 400	10[m]	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
		20[m]	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
		30[m]	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
		40[m]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	비가시 거리 400	10[m]	-	-	-	-	-	91	75	66	62	62	66	75	91	-	-	-
		20[m]	-	-	-	-	-	80	70	62	57	56	56	57	62	70	-	-
		30[m]	-	-	-	-	-	83	70	63	57	54	53	53	54	57	63	-
		40[m]	-	-	-	-	-	89	74	64	59	54	52	51	51	52	54	59
1,200	가시 거리 600	10[m]	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
		20[m]	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
		30[m]	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
		40[m]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	비가시 거리 600	10[m]	-	-	-	-	-	-	92	79	73	73	79	92	-	-	-	-
		20[m]	-	-	-	-	-	-	83	71	65	62	62	65	71	83	-	-
		30[m]	-	-	-	-	-	-	84	73	65	61	58	58	61	65	73	-
		40[m]	-	-	-	-	-	-	89	75	67	61	58	56	58	61	67	-
1,400	가시 거리 700	10[m]	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
		20[m]	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
		30[m]	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
		40[m]	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
	비가시 거리 700	10[m]	-	-	-	-	-	-	-	85	78	78	85	-	-	-	-	-
		20[m]	-	-	-	-	-	-	-	90	77	69	65	69	77	90	-	-
		30[m]	-	-	-	-	-	-	-	91	78	68	63	61	61	63	68	78
		40[m]	-	-	-	-	-	-	-	82	72	65	61	59	59	61	65	72
1,600	가시 거리 800	10[m]	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
		20[m]	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
		30[m]	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
		40[m]	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
	비가시 거리 800	10[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	82	83	83	82	-	-	-	-
		20[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	81	72	68	68	72	81	-	-
		30[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	82	72	66	63	63	66	72	82
		40[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	85	76	68	63	61	63	68	76
1,800	가시 거리 900	10[m]	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
		20[m]	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
		30[m]	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
		40[m]	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
	비가시 거리 900	10[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87	87	-	-	-	-	-
		20[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	76	71	71	76	85	-
		30[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87	75	69	65	65	69	75
		40[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92	79	70	66	63	63	70
2,000	가시 거리 1,000	10[m]	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
		20[m]	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
		30[m]	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
		40[m]	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	비가시 거리 1,000	10[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92	92	-	-	-	-	-
		20[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	91	79	74	74	79	91	-
		30[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	91	79	71	68	68	71	79
		40[m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82	73	67	65	65	67	73

한편, 서비스 가능 수신전력을 -95 dBm으로 가정할 때, 도로폭과 경사각에 따라 값을 달리하는 가입자 서비스가 가능한 직진경로를 표 3으로부터 구한 결과는 표 4와 같다.

표 4 도로폭과 경사각에 따른 서비스 가능 직진 경로[m]

경사각	도로폭			
	10[m]	20[m]	30[m]	40[m]
70[°]	140	510	710	910
80[°]	400	780	1,080	1,370
90[°]	600	1,140	1,540	1,950
100[°]	850	1,740	2,000	2,000
110[°]	1,250	2,000	2,000	2,000
120[°]	1,750	2,000	2,000	2,000
130[°]	2,000	2,000	2,000	2,000
140[°]	2,000	2,000	2,000	2,000
150[°]	1,720	2,000	2,000	2,000
160[°]	1,270	2,000	2,000	2,000
170[°]	860	1,540	2,000	2,000

IV. 결 론

도심환경 마이크로셀 이동통신의 경우 표 2의 사양으로 제안 예측모델을 시뮬레이션 하였고, 이때 이동국의 최소 수신전력을 -95 dBm으로 기준하고, 이동국에 도래하는 전파는 단 하나의 파수인 경우이다.

시뮬레이션결과 경사각과 도로폭에 따라 달라지는 가입자 서비스 가능 거리를 유효파수가 100% 이상인 경사각 90° 이상에서, 시뮬레이션의 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- ① 경사각 90°인 경우 가입자 서비스 가능 직진 경로는 도로폭 10 m에서 600 m, 도로폭 20 m에서 1,140 m, 도로폭 30 m에서 1,540 m, 도로폭 40 m에서 1,950 m이다.
- ② 경사각 110°인 경우 가입자 서비스 가능 직진 경로는 도로폭 10 m에서 1,250 m, 도로폭 20 m 이상에서 2,000 m이다.
- ③ 경사각 130°~140°인 경우 가입자 서비스 가능 직진경로는 도로폭에 관계없이 2,000 m이다.
- ④ 경사각 150°인 경우 가입자 서비스 가능 직진 경로는 도로폭 10 m에서 1,720 m이고, 그밖의 모든 경우는 2,000 m이다.
- ⑤ 경사각 160°인 경우 가입자 서비스 가능 직진 경로는 도로폭 10 m에서 1,270 m이고, 그밖의 모든 경우는 2,000 m이다.
- ⑥ 경사각 170°인 경우 가입자 서비스 가능 직진 경로는 도로폭 10 m에서 860 m, 도로폭 20 m에서 1,540 m, 그리고 도로폭 30 m와 40 m에서 2,000 m이다.

이상의 결과, 도심 생활공간 마이크로셀 이동통신의 전파환경에서 기지국의 최적 위치선정과 서비스 반경에 따른 최적출력을 결정하기 위해서는 셀 내 도로상황을 면밀히 검토하여 표 3과 표 4를 활용해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] W.C.Y.Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals", Wiley Interscience 1993.
- [2] W.C.Y.Lee, "Microcell Architecture", IEEE Communications Magazine, Nov. 1991.
- [3] 박성렬, 박창균, 임영석, "이동통신 환경에서의 전파전파 모델", 한국음향학회 논문지, pp89-96, June 1996.
- [4] 노순국, 박창균, 임영석, "도심 환경에서의 전파전파 예측 모델", 1996년도 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, pp1524-1529, June 1996.
- [5] 노동수, 박창균 외 4명, "교외지역 무선통신을 위한 전파환경 분석", 1996년도 한국음향학회 종합학술발표회 논문집, pp141-147, June 1996.
- [6] 김재섭, 박창균, "교외지역 전파환경을 위한 예측 모델 제안", 한국음향학회 논문지, pp49-56, May 1997.
- [7] T.Iwama and M.Mizuno, "Prediction of propagation characteristics for microcellular land mobile radio", Proc .ISAP, pp.421-424, Sapporo, Japan, 1992.
- [8] Joseph sarnecki, C.Vinodrai,Alauddin Javed, Patrick O'Kelly and Kevin Dick, "Microcell Design Principles", IEEE Communications Magazine, pp.76-82, April, 1993.
- [9] F.Ikegani, 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.
- [10] 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.
- [11] 김세운, 김상욱, "임의의 교차각을 갖는 도심 도로에서 PCS를 위한 GTD 전파모델", Telecommunication Review, 제 6 권, 제 3 호, pp.208-220, May 1996.
- [12] 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.
- [13] 장광록, 김효태, "전파송출법의 계산효율 개선에 관한 연구", Telecommunication Review, 제6권, 제3호, pp.698-714, 1996.
- [14] 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. 955-969, Nov. 1994.
- [15] Scott Y.seidel, Theodore S.Rappaport, "Site-specific Propagation Prediction for Wireless In-Building Personal Communication System Design", IEEE Cellular Radio and Communication Vol.2., pp.223-891, 1994.