

# 마이크로셀에서의 전파-전파 모델에 관한 연구

라유찬

남서울대학교 전자정보통신공학부

## A Study on Model of Radio Wave Propagation at Microcells

Yoo Chan Ra

Dept. of Electronic and Information Communication Eng. NamSeoul Univ.

e-mail : ycra@nsu.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 한국의 전파환경을 도시 계획법에서 지정한 지역세분을 기초로 4개의 대분류와 8개로 소구분하여 Kor-231 모델을 제안하였다. 전파전파 특성을 측정하기 위해 슬라이딩 코릴레이션 기법을 이용한 대역확산 송·수신 방식으로 구현하여 수신전력, 평균 초과지연 그리고 RMS 지연확산을 가장 도시계획적으로 개발된 공업지역과 주거지역에서 직선 도로에 마이크로셀을 배치하여 도로를 따라 진행하는 LOS와 건물들로 둘러쌓인 N-LOS에서 측정된 데이터를 분석하여 한국의 전파환경에서 잘 적용됨을 확인 하였다.

#### 1. 서 론

셀룰러 이동통신은 정보화 사회에서 인간이 추구할 수 있는 개인성과 이동성을 가장 적절하게 만족시킬 수 있는 정보통신 서비스로서 인정되고 있다. 이러한 기술발전은 주파수와 서비스영역의 확대를 의미하며, 수많은 마이크로셀 형태의 기지국 설치를 기반으로 하고 있다[1]~[3]. 따라서 마이크로셀 설치 지역에서의 전파 전파에 대한 구체적인 해석은 이웃 셀간의 설치간격, 간섭 및 서비스영역을 결정하는데 매우 중요하다. 더불어 신호의 페이딩, 경로손실 그리고 시간 지연특성에 대하여 마이크로셀의 전파 전파환경에 따른 다양한 전파지연 모델 및 측정에 관하여 연구가 이어지고 있다[4].

본 논문에서는 이동통신 기지국 설계시 마이크로셀에서 전파경로손실 계산에 가장 많이 쓰이고 있는 Cost-231[5]에 사용되는 파라미터 중 도시형태의 크기와 밀도에 따른 분류를 초고주파수대에서 한국의 전파환경

(Kor-231)에 적합하도록 개선하고 측정된 결과를 비교 분석하여 모델의 오차를 줄이고자 한다.

환경 분류인 도심, 준도심, 교외지역과 그 지역에서의 건물의 면적, 크기와 높이, 식물계수의 특성분류를 조사하고 한국의 도시계획법 시행령에 의해 지정된 지역세분을 기초로 한국 실정에 맞는 전파환경을 재분류 하겠다.

연구방법은 초고주파수에서 전파거동을 측정하기 위해 슬라이딩 코릴레이션 기법을 이용하여 수신전력과 RMS 지연확산을[6][7]을 가장 도시계획적으로 개발된 대단위 공업지역과 고·저층 아파트단지의 주거지역에서 직선 도로에 마이크로셀을 배치하여 도로를 따라 진행하는 LOS와 건물들로 둘러쌓인 N-LOS 에서 측정된 데이터를 분석 하겠다.

#### 2. 전파환경 분류

전파환경에 따라 전파 전파 특성이 다르게 되므로 이에 해당하는 빌딩 높이와 건물들의 밀도, 안테나 높이 등에 의해 기지국의 위치 선정과 출력의 세기, 셀의 크기를 결정하게 된다. 따라서 전파환경을 분류하는 기준은 측정자, 국가에 따라 다를 수 있으므로 외국의 전파환경 분류를 바탕으로 한국의 도시계획법 시행령에 따라 지정된 지역세분으로 전파환경에 맞는 분류를 제시한다.

따라서 한국의 도시계획법에 따라 전파환경 분류에 응용할 수 있는 것은 지역에 대한 분류로서 크게 주거, 상업, 공업지역 그리고 녹지지역으로 구분할 수 있다. 이를 토대로 전파영향에 대한 건물의 높이와 통신수요의 변화를 고려한 후 대분류 4개 지역과 8개의 소구분을 특징적으로 보다 세분화하여 표 1에 나타내었다.

표 1. 본 논문에서 제안한 지역구분과 세분화

대분류	소분류	특징	토지	지역	건폐/용적률[%]
농지 지역	평지	논, 밭, 농장 등이 넓은 지역에 분포해 있는 평탄한 지역	23	1A, 1B	20/80
	산지	산들이 위치해 있는 산악지역	1	1C	20/100
공업 지역	밀도구분	공장들이 밀집해 있는 공단	5	3C	49.5/350
주거 지역	저층주거	1-4층 정도의 주택 지역	7	2A	23/100
	중층주거	4-10층 정도의 아파트 지역	6	2B	34.5/400
	고층주거	10층 이상의 아파트 밀집지역	6	2C	44.3/700
상업 지역	중도심	도심보다는 덜 변화한 상업지역	8	3B	57.5/900
	도심	고층 빌딩과 도로가 많고 낮시간의 활동인구가 많아서 통신수요가 가장 많은 변화한 지역	9	3A	70/1300
조경 면적이 200m <sup>2</sup> 이상인 경우 5%이상으로 함.					

본 논문에서 제안한 지역구분과 세분화에서 영국 이동 통신의 토지이용에 관한 분류와 미국이나 유럽에서 사용 중인 마이크로셀의 전파환경 분류 적용 파라미터를 사용함으로써 한국의 전파환경에 객관성을 갖도록 하였다. 또한 건물은 건물의 면적, 용적율은 빌딩의 크기와 높이로 사용되며, 조경면적은 식물계수로 사용하여 Kor-231 모델을 식 (1)과 같이 정의할 수 있으며, 파라미터는 표 2와 같다.

$$L_k = -(L_f + S_o + S_{ks} + B_o + B_k + V_i) [dB] \quad (1)$$

여기서,

$$L_f = 20 \log f + 20 \log d + 32.44$$

$$S_o = (1 - U_r) [(1 - 2 U_r) L_{open} + 4 U_r L_{sub}]$$

$$S_{ks} = \left[ 27 + \frac{f}{230} \right] \log \left[ \frac{17(h_i + 20)}{17(h_i + 20) + d^2} \right] + 1.3 - \frac{|f - 50|}{750}$$

$$B_o = 25 \log(B_1) - 30$$

$$B_k = 20 \log(\Delta H) + 9 \log b$$

$$V_i = 20 \log V_i + 10$$

표 2. Kor-231 모델 파라미터

파라미터	특징
$L_f$	자유공간 경로손실
$U_r$	0(열린지역), 0.5(교외지역), 1(도시지역)
$B_1$ (%)	건폐율(20~70%)
$\Delta H$ (%)	용적률(100~1300) 층
$b$ (m)	건물간의 거리(10m 이상)
$V_i$ (%)	식물계수(0.5 이상)

### 3. 다중경로 채널모델 및 측정 시스템

#### 3.1 무선채널 매개변수

광대역 다중경로 채널의 시간 분산특성은 평균 초과지연  $\tau$ 와 RMS 지연확산  $\sigma_r$ 에 의해 크기를 정량화할 수 있다. 평균 초과지연은 전력 지연 확산프로파일의 평균값 즉, 1차 모멘트이고 식(4)과 같이 정의된다[9].

$$\tau = \sum_k a_k^2 \tau_k / G_r \quad (4)$$

여기서  $a_k^2$  : 다중경로 성분의 k번째 전력

$\tau_k$  : k번째 초과지연

$G_r = \sum_k a_k^2$  : 전력 지연프로파일에 수신

전력 이동 단말기의 움직임에 따른 평균 초과지연값의 변화를 시간 지연지터라 하며, 시간 지연지터  $J_i$ 는 식 (5)와 같다.

$$J_i = \overline{\tau_i} - \overline{\tau_a} \quad (5)$$

여기서  $\overline{\tau_i}$  : 각각의 전력 지연프로파일의 평균 지연

$\overline{\tau_a}$  : 모든 전력 지연프로파일의 평균 지연

이동 전파채널에서의 RMS 지연확산은 채널의 시간 분산특성을 특징짓는 전력 지연확산프로파일의 2차 중심모멘트로서 식 (6)과 같이 정의된다.

$$\sigma_r = \sqrt{\tau^2 - \overline{\tau}^2} \quad (6)$$

여기서  $\tau^2 = \sum_k a_k^4 \tau_k^2 / G_r^2$  : 평균제곱 초과지연

$\overline{\tau}^2$  : 평균제곱 지연확산

다중경로 채널에서의 시간 지연확산은 식 (6)에서 나타내는 값으로서 어느 정도 시간에 걸쳐 전파되는 신호의 에너지가 퍼져있는지를 나타낸다.

#### 3.2 무선채널 측정 시스템

본 논문에 사용된 측정시스템의 송신부는 송신기(ME2620B1)와 신호발생기(MG3633), 전력증폭기(KA2000-20R), 그리고 송신안테나로 구성되며, 송신부의 연결하였으며 신호발생기로부터 10MHz 기준신호를 발생시켜 송신기로 입력하여 140MHz 중간 주파수를 발생시켜 30MHz의 PN코드 신호로 BPSK 변조시킨다. 이 변조신호를 신호발생기에서 발생시킨 국부발전기 신호 1.81GHz와 합쳐서 중심 주파수 1.95GHz와 출력레벨을 0dBm로 만든다. 이 신호는 전력 증폭기를 통해 20W로 증폭되어 안테나를 통해 송신된다.

수신부는 수신안테나와 수신기(ME2620B1), 신호발생기(MG3633), 오실로스코프(HP54720)와 제어 및 데이터용 노트북 컴퓨터로 구성된다.

#### 4. 전파지연특성 측정 및 분석

무선채널에서의 전파환경은 빌딩 높이와 건물들의 밀도, 안테나 높이 등에 의해 기지국의 위치선정과 출력의 세기, 셀의 크기를 결정하게 된다. 그리고 LOS 경로에서는 직접파와 지면 및 벽면 반사파가 주요 성분이 되고, N-LOS 경로에서는 벽면 반사파와 회절 및 굴절에 의한 전파가 수신기에 도달된다.

따라서 전파환경분류에 의해 공업지역은 공간전체는 일정한 크기의 500m×500m과 주거지역의 저·고층아파트들이 밀집한 지역으로 크기는 400m×400m로 도시계획에 의해 개발된 지역을 선정하고 분석하였다. LOS 환경에서 공업지역과 주거지역의 수신전력은 그림 1, 그림 2에 측정치와 Cost-231과 Kor-231은 공업지역에서 10dB, 주거지역은 14.5dB 작은 값으로 분석하였다.

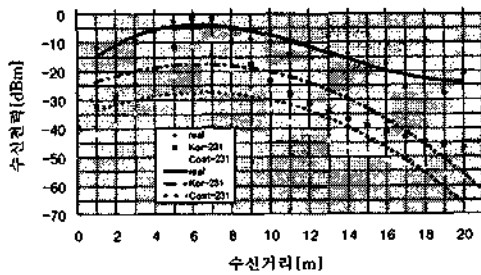


그림 1. 공업지역의 LOS에서 수신전력 비교

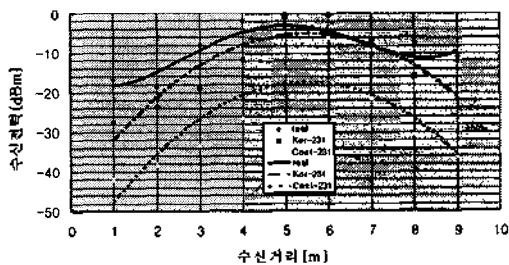


그림 2. 주거지역의 LOS에서 수신전력 비교

공업지역에 수신전력값은 8번 지점에서는 측정치는 -5.2dBm, Cost-231은 -19.5dBm이며, 20번 지점에서는 각각 -21.8dBm, -57.3dBm이다. 주거지역에 5번 지점의 측정치는 -1.2dBm, Cost-231은 -14.8dBm이며, 1번 지점에서는 각각 -16.8dBm, -42dBm 이다.

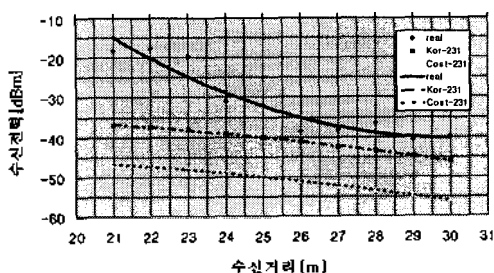


그림 3. 공업지역에서 N-LOS의 예측 및 측정 수신전력 비교

N-LOS 환경은 그림 3, 그림 4은 공업지역의 수신전력은 21번, 29번 지점에서는 측정치와 Cost-231에 의한 값은 14.1dB 낮으며 Kor-231은 4.1 dB로 분석된다.

주거지역에 ①번, ②번 지점에서는 측정치와 Cost-231의 차이는 12.2dB, 12.9dB이며 Kor-231은 2.3dB와 1.4dB로 작은 오차 범위 안에 있음을 알 수 있다.

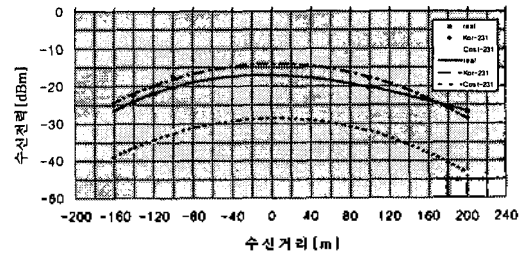


그림 4. 주거지역에서 N-LOS의 예측·측정 수신전력비교

RMS 지연확산은 송·수신기간의 분리거리, 도로 폭, 안테나의 위치 등을 평탄경로 손실공식과 다중회절 영향을 고려하여 계산하였다.

LOS환경에서 RMS 지연확산 측정치와 예측치를 그림 5, 그림 6에서 비교 분석하였다.

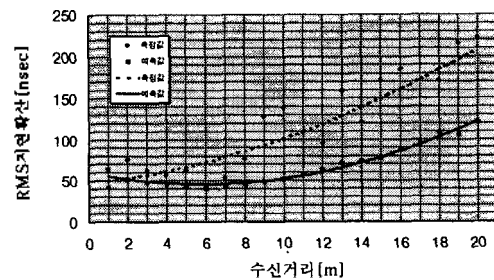


그림 5. 공업지역에서 LOS의 예측·측정 RMS 지연확산 비교

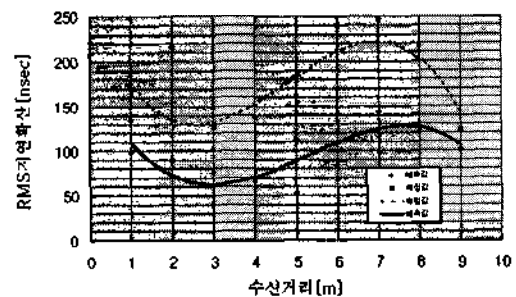


그림 6. 주거지역에서 LOS의 예측·측정 RMS 지연확산 비교

공업지역의 경우 1번과 20번 지점에서는 측정치 41ns와 222ns이며, 예측치는 63ns와 121ns로 차이는 101ns로 거리의 증가에 따라 더 큰 차이를 나타내고 있다.

주거지역에 5번, 1번, 8번 지점의 측정치는 112ns, 135ns, 218ns이며, 예측치는 53ns, 98ns, 124ns이다. 이 결과는 고층 아파트에 의한 반사파 영향이 많은 8번에서 94ns이며, 반사파 영향이 적은 1번에서는 37ns의 차이를 보이고 있다.

N-LOS의 RMS 지연확산 측정치와 예측치를 그림 7, 그림 8의 공업지역과 주거지역에서 보이고 있다.

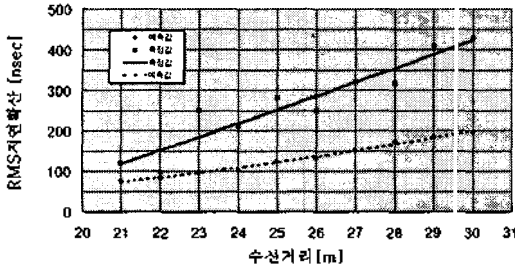


그림 7. 공업지역에서 N-LOS의 예측·측정 RMS 지연확산 비교

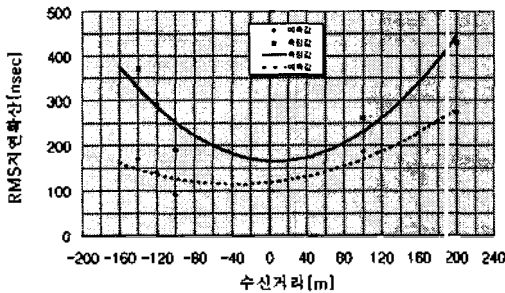


그림 8. 주거지역에서 N-LOS의 예측·측정 RMS지연확산 비교

공업지역의 경우 21, 29번 지점에서는 측정치 120ns와 430ns이며, 예측치는 73ns, 195ns이고 차이는 47ns에서 235ns로 거리의 증가에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 이것은 공단지역의 단순한 환경으로 일정한 거리의 건물로 인한 반사파의 결과로 분석할 수 있다.

주거지역에 고층아파트의 RMS 지연 확산 값은 각각 측정치 260ns와 430ns이며, 예측치는 186ns와 272ns로 차이는 74ns에서 158ns로 측정된 것은 건물 벽면에서의 반사파로 분석되며, 저층의 예측치가 92ns, 142ns, 170ns이며, 측정치가 190ns, 290ns, 370ns로서 차이는 98ns에서 200ns까지로 분석된다.

### 결 론

본 논문에서는 전파환경을 한국의 도시계획법 시행령에 의해 지정된 지역세분으로 4개의 대분류와 8개의 소구분으로 분류하여 Kor-231에 적용하여 측정 분석하였다.

공업지역과 주거지역을 Kor-231에서는 각각 3C와 2C로 분류하여 측정치와 비교하였다. LOS환경에서 측

정된 수신전력이 Kor-231에서는 공업지역과 주거지역에서 25.5dB, 10.7dB를 차이가 난다. 또한 RMS 지연확산은 각각 101ns와 35ns의 차이를 가진다.

N-LOS 환경에서 측정된 수신전력은 Kor-231에서 공업지역의 경우 4.1dB와 주거지역의 고·저층아파트지역은 2.3dB와 1.6dB를 차이를 가진다. 또한 RMS 지연확산은 공단지역은 47ns에서 208ns로 거리의 증가에 따라 큰 차이를 가지며, 주거지역에서는 고층 아파트지역의 74ns와 158ns와 저층 아파트지역은 98ns, 148ns, 200ns의 차이로 분석된다. 따라서 복잡하고 다양한 환경에서 작은 오차를 가지는 Kor-231 모델은 한국의 전파환경에 잘 적용됨을 확인할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. Steele and V. K. Prabhu, "High-user-density digital cellular mobile radio systems," Proc. Inst. Elec. Eng., vol. 132, pp. 396-404, May 1985.
- [2] R. Steele, "The cellular environment of lightweight handheld portables," IEEE Commun. Mag., vol. 27, pp. 20-29, Mar. 1989.
- [3] A. J. Rustako, Jr., N. Amitay, G. J. Owens, and R. S. Roman, "Radio propagation at microwave frequencies for line-of-sight microcellular mobile and personal communications," IEEE Trans. Vehicular Technol. Conf. vol. 40, pp. 721-730, Mar. 1991.
- [4] H. H. Xia, H. L. Bertoni, L. R. Maciel, A. Lindsay-Stewart, and R. Rowe, "Radio propagation characteristics for line-of-sight microcellular and personal communications," IEEE Trans. on Antennas Propagat., vol. 41, pp. 1439-1447, Dec. 1993.
- [5] European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research EURO-COST 231, "Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800MHz Bands," Tech. Rep., The Hague, Sep. 1991.
- [6] L. E. Vogler, "Radio Wave Diffraction by A Rounded Obstacle", Radio Science, 20(3), pp. 582~590, June. 1985.
- [7] J. Epstein, and D. W. Peterson, "An Experimental Study of Wave Propagation at 850MHz", Proc. IRE, vol. 41, pp. 595~611, 1953
- [8] 현행법령집 도시계획법 시행령 제29조 - 제64조 pp. 560-578, Jan. 2000.
- [9] M. J. Feuerstein, K. L. Blackard, T. S. Rappaport, S. Y. Seidel, and H. H. Xia, "Path Loss, Delay Spread, and Outage Models as Functions of Antenna Height for Microcellular System Design," IEEE Tran. on Vehicular Technol., vol. 43, pp. 487-498, Aug. 1994.