

# IMT-2000 주파수대역에서의 전파-전파 모델에 관한 연구

정희원 나 유 찬\*, 이 승 우\*\*, 신 흥 규\*\*

## A Study on the Radio Wave Propagation Model in IMT-2000

Yoo-Chan Ra\*, Seung-Woo Lee\*\*, Hong-Kyu Shin\*\* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 한국의 전파환경을 도시 계획법에서 지정한 지역세분을 기초로 4개의 대분류와 8개로 소구분하고 전폐율, 용적율, 건물간 거리 그리고 식물계수로 세분화하여 Hata 모델과 비교하고 Kor-231 모델을 제안하였다. 정확하고 기본적인 전파 특성을 위하여 공업지역과 주거지역을 선정하여 LOS와 N-LOS의 전파환경에서 전송거리에 따른 수신전력과 RMS 지연확산의 변화를 측정하였다. 측정결과를 Kor-231 모델과 비교하면 LOS의 수신전력이 25.5dB와 14.5dB, RMS 지연확산은 101ns와 35ns이며, N-LOS의 수신전력은 4.1dB와 1.6dB, RMS 지연확산은 74ns에서 200ns의 차이로 분석되었다.

### ABSTRACT

In this In this thesis, we have proposed the Kor-231 which compared with Hata by dividing 4 classes and 8 details, which based on that the area subdivision which is defined by the City Planning Regulation of Korea classified on its rate of building-to-land, floor area and distance between building and botanical coefficient. The experiments are carried out at the point of the RMS delay spread and the received power in the two kinds of geographical areas, LOS(Line of Sight) and N-LOS(Non Line of Sight).

When the measured result is compared with Kor-231 model, we can catch the result that received power are 25.5dB and 14.5dB, the RMS delay spread are 101ns and 35ns and N-LOS received power are 4.1dB and 1.6dB. So we have certified that it is well due to the result analyzed into the difference of the RMS delay spread from 74ns to 200ns

### I. 서론

셀룰러(cellular) 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(microcells) 형태의 기지국 설치를 기반으로 하고 있다[1]~[3].

따라서 마이크로셀 설치 지역에서의 전파에 대한 구체적인 해석은 이웃 셀간의 설치간격, 간섭 및 서비스영역을 결정하는데 매우 중요하다. 더불어 신호의 페이딩(fading), 경로손실 그리고 시간 지연 특성에 대하여 마이크로셀의 전파환경에 따른 다양한 전파지연 모델 및 측정에 관하여 연구가 이어지고 있다[4]. 본 논문에서는 이동통신 기지국 설계시 마이크로셀에서 전파 경로손실 모델 중 Okumura 모

\* 남서울대학교 전자정보통신공학부, \*\* 원광대학교 전자공학부

논문번호 : 020437-1008, 접수일자 : 2002년 10월 8일

\*\*이 논문은 2001년도 원광대학교 교비 지원에 의해 수행됨.

델에서 유도된 Extended Hata 모델(Cost-231)[5]에 사용되는 파라미터 중 도시형태의 크기와 밀도에 따른 분류를 초고주파수대에서 전파환경에 적합하도록 개선하고 측정 결과를 비교 분석하여 한국의 전파모델(Kor-231)을 개발하고자 한다. 전파환경은 채널의 전파특성을 효율적이고 경제적으로 분석하기 위해 영국 이동통신에서 분류한 토지이용에 관한 구분 기준과[6] 미국이나 유럽에서 이론과 실험연구[7]에 적용하고 있는 지역분류인 도심, 준 도심, 교외지역과 건물의 면적, 크기와 높이 그리고 식물계수의 특성분류를 조사하고 한국의 도시계획법 시행령에 의해 지정된 지역세분을 기초로 전파환경을 재분류 한다. 연구방법은 1.95GHz에서 전파거동을 측정하기 위해 슬라이딩 코릴레이션(sliding correlation) 기법을 이용한 대역확산 송·수신 방식을 구현하여 전파거동 파라미터인 수신전력 및 디지털 전송의 성능평가를 위한 RMS (Root Mean Square) 지연확산(delay spread)을[8]~[10] 측정하기 위해 가장 도시계획적으로 개발된 대단위 공업지역과 고·저층 아파트단지의 주거지역에서 직선도로에 마이크로셀을 배치하여 도로를 따라 진행하는 LOS (Line of Sight)와 건물들로 둘러싸인 N-LOS (Non-Line of Sight)에서 측정된 데이터를 Kor-231과 Cost-231에서 산출된 데이터를 비교 분석 한다.

## II. 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 분류 방법을 바탕으로 한국의 도시계획법 시행령에 따라 지정된 지역세분으로 전파환경을 분류하였다. 따라서 한국의 도시계획법에 의한 분류기준에 의한 지역은 대지면적에 대한 건물의 건면적을 건폐율, 연면적을 용적율이라 하며 도로시설에 관한 규정에 의한 주간선 도로는 1Km 내·외와 후보조 도로는 500m 내·외로 분류하여 건폐율을 적용하고 있다[11]. 그러므로 전파환경에 응용할 수 있는 분류로서 크게 주거, 상업, 공업, 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. 본 논문에서 제안한 지역구분과 세분화에서 영국 이동통신의 토지이용에 관한 분류와 미국이나 유럽에서 사용중인 마이크로셀의 전파환경지역 분류의 적용 파라미터를 비교함으로써 한국의 전파환경에 객관성을 갖도록 하였다. 또한 건폐율은 건물의 면적, 용적율은 빌딩의 크기와 높이로 사용되며, 조경면적은 식물계수로 사용하였다. 그러나 식물계수는 수목의 밀도와 분포상수를 고려해야 하며, 안테나의 고도에 대한 수목의 상대적 높이도 삼림손실에 직접적으로 관계되고, 단말기가 산림지역에 있을 경우는 회절손실까지 고려해야 한다. 따라서 일반적으로 전파경로 거리가 길고 산림이 균등하지 않을 때에는 20dB/dec로 계산하며, 한국의 도심지역에서는 무시할 정도로 작은 값으로 계산되는 경우도 있다.

표 1. 본 논문에서 제안한 지역구분과 세분화

대분류	소구분	특정	토지	지역	건폐율 / 용적율(%)
녹지지역	평지	논, 밭, 농장 등이 넓은 지역에 분포해 있는 평탄한 지역	2,3	1A,1B	20/80%
	산지	산들이 위치해 있는 산악지역	4	1C	20/100%
공업지역	밀도에 따라 구분	공장들이 밀집해 있는 공단	5	3C	49.5/350%
주거지역	저층 주거	1-4층 정도의 주택 지역	7	2A	23/100%
	중층 주거	4-10층 정도의 아파트 지역	6	2B	34.5/400%
	고층 주거	10층 이상의 아파트 밀집지역	6	2C	44.3/700%
상업지역	준도심	도심보다는 덜 변화한 상업지역	8	3B	57.5/900%
	도심	고층 빌딩과 도로가 많고 낮시간의 활동 인구가 많아서 통신 수요가 가장 많은 변화 지역	9	3A	70/130%
조경 면적이 200m <sup>2</sup> 이상인 경우 5%이상으로 함.					

Kor-231모델은 식 (1)과 같이 정의할 수 있으며, 파라미터는 표 2와 같다.

$$L_k = -(L_f + S_o + S_{ks} + B_o + B_h + V_l) [dB] \tag{1}$$

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

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

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

$$B_0 = 25 \log(B_1) - 30$$

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

표 2. Kor-231 모델 파라미터

파라미터	특	징
$L_k$	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)	

Kor-231 모델은 식 (1)의 초고주파수영역에서 마이크로셀이 2Km 이내로 축소되므로 대도시와 중·소도시 변수를 사용하지 않았으며, 전파환경에 직접적인 영향을 미치는 건폐율, 용적율, 건물간의 거리 그리고 식물계수를 고려하여 한국 전파환경에 맞도록 계산하였다. 따라서 공업지역의 조건은 도심지로 분류되어 건폐율  $B_1$ 을 49%, 용적율  $\Delta H$ 은 500%, 건물간격  $b$ 는 25m, 그리고 식물계수  $V_i$ 는 식물분포가 작아서 0.4%로 설정하여 신호예측에 적용할 수 있도록 식 (2)과 같이 정의하였다.

$$L_k = 77.7 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_t + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log r \text{ (dB)} \quad (2)$$

주거지역의 조건은 교외지역으로 분류되고 건폐율  $B_1$ 을 40%, 용적율  $\Delta H$ 은 300%, 건물간격  $b$ 는 20m, 그리고 식물계수  $V_i$ 는 식물분포가 작아 0.4%로 설정하여 신호예측에 적용할 수 있도록 식 (3)과 같이 정의하였다.

$$L_k = 80 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_t + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log r \text{ (dB)} \quad (3)$$

### III. 다중경로 채널모델 및 측정 시스템

#### 3.1 다중경로 채널 임펄스응답

시간에 따라 변하는 선형 필터 특성으로 다중경로 채널 임펄스 응답 모델은 송신신호는  $x(t)$ 와 같이 정의할 수 있다.

$$x(t) = \text{Re} [u(t) \exp(j\omega_c t)] \quad (4)$$

$x(t)$ 를 시변 다중경로 채널을 통과하면 시간확산과 감쇠요소가 채널특성과 시간변화에 따라 수신된 신호  $y(t)$ 와 같다.

$$y(t) = \sum_k \alpha_k(t) x(t - \tau_k(t)) \quad (5)$$

추정된  $\alpha_k(t)$ 는 k 번째 다중경로에서의 감쇠요소,  $\tau_k(t)$ 는 k 번째 다중경로 초과지연이다.

따라서 식 (4)와 식 (5)에 의해 수신신호  $y(t)$ 는 식 (6)과 같다.

$$y(t) = \text{Re} \sum_k \alpha_k(t) \exp[-(j\omega_c \tau_k(t)) u(t - \tau_k(t))] \exp(j\omega_c t) \quad (6)$$

수신신호  $y(t)$ 를 저역필터에 통과한 신호  $r(t)$ 는 식 (7)와 같다.

$$r(t) = \sum_k \alpha_k(t) \exp[-(j\omega_c \tau_k(t)) \delta(t - \tau_k(t))] \quad (7)$$

따라서  $r(t)$ 는 저역입력신호  $u(t)$ 를 등가저역채널에 통과시켰을 때의 응답신호가 되므로 등가저역채널은 시변 임펄스응답  $h(t)$ 와 같이 표시할 수 있다.

$$h(t) = \sum_k \alpha_k(t) \exp[-(j\omega_c \tau_k(t)) \delta(t - \tau_k(t))] \quad (8)$$

여기서 지수부분은 위상천이에 대한 성분이다. 따라서 신호가 채널을 통과하게 되면 입력신호와 시변 임펄스응답  $h(t)$ 를 컨볼루션(convolution)한 것과 같은 결과이다. 기저대역의 경우,  $p(t) = 1$  로 할때 수신신호를 얻을 수 있다.

$$r(t) = \sum_k \alpha_k(t) \exp[-(j\omega_c \tau_k(t))] = \sum_k \alpha_k(t) \exp[-(j\theta_k(t))] \quad (9)$$

여기서, 진폭  $\alpha_k(t)$ 와 위상  $\theta_k(t)$ 를 갖는 시변벡터는 k번째 신호의 진폭과 위상을 나타낸다. RF캐리어에 의해 변조된 펄스폭  $T_{bb}$ 인 신호에 대하여 등



공업지역인 그림 1는 송신안테나를 4m로 자동화 센터 주차장의 지면에 설치하여 송신안테나를 세워 건물의 음영지역을 줄이고 건물에 비해 낮게하여 지붕의 회절파나 직접파 보다는 간접파 성분을 측정하기 위해 설치하였다. 따라서 LOS 환경에서의 수신지점은 송신기로부터 약 20m지점에 공단지역을 마주보고 좌우로 25m 간격으로 수신지점을 선택하여 측정하였다. 또한 N-LOS 환경에서 공단지역의 전파특성은 공단내부의 도로를 따라 25m 간격으로 10개의 수신지점을 선택하여 도파관 형태의 구조에서 반사파와 회절파를 측정하였다. 주거지역은 그림 2와 같이 송신안테나는 15m 높이의 평촌 우체국의 4층 창밖에 도로를 향하도록 설치하였으며, 우체국 전면에 있는 도로 및 그 앞쪽에 위치한 아파트단지에는 15층 이상의 고층아파트와 5층의 저층 아파트로 전체적인 표면 거칠기는 비슷하였다. 도로 폭은 4차선으로 약 12m 정도이며 양옆으로 폭이 3m 정도의 보행자 도로로서 잎사귀가 작은 4-5m 크기의 단풍나무 가로수가 심어져 있다. 측정지역은 LOS 지역은 40m 간격으로 9지점을 선정하고 아파트들로 둘러 쌓인 N-LOS 지역을 다시 저층 아파트지역과 고층 아파트지역으로 나누어 측정하였다. LOS 환경에서 공업지역과 주거지역의 수신전력은 그림 3, 그림 4에 측정값은 Cost-231과 Kor-231에서 점으로 표시된 실제값과 연결된 평균값은 공업지역에서 10dB, 주거지역은 14.5dB 까지 차이 값으로 측정되었다. 공업지역에 수신전력은 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, -42dBm이다. N-LOS 환경은 그림 5, 그림 6이며, 공업지역의 수신전력은 21번, 29번 지점에서 측정치와 Cost-231에 의한 값은 14.1dB 낮으며 Kor-231은 4.1dB로 분석된다. 주거지역에 고층아파트 100m, 저층아파트 140m에서 측정치와 Cost-231의 차이는 12.2dB, 12.9dB이며 Kor-231은 2.3dB와 1.4dB의 오차를 가지고 있음을 알 수 있다. RMS 지연확산은 송·수신기간의 분리거리, 도로폭, 안테나 높이 등의 시간지연, 확산채널 매개변수를 계산해야 한다. 그러나 본 논문에서는 콘크리트벽과 아스팔트의 대표적인 변수의 유전율 및 전도도는 각각 15, 20으로 건물에 반사된 신호의 크기와 평탄 경로 모델을 사용하여 송·수신 안테나 높이와 거

리를 계산하고, 다중회절의 영향으로  $P_r \propto f^{-n}$ 로  $2 \leq n \leq 3$ 인 경우 주파수와와의 관계를 이용하여 RMS 지연확산을 예측하였으나 실제의 전파환경은 많은 매개변수의 다른 구성체로 이루어진 복합체이므로 정확한 예측을 하기에는 어려움이 많다. LOS 환경에서 RMS 지연확산 측정치와 예측치를 그림 7, 그림 8에서 비교 분석하였다. 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 9, 그림 10의 공업지역과 주거지역에서 보이고 있다. 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 고층아파트 지점인 100m, 200m의 RMS 지연 확산값은 각각 측정치 260ns와 430ns이며, 예측치는 186ns와 272ns로 차이는 74ns에서 158ns로 측정된 것은 건물 벽면에서의 반사파로 분석되며, 저층아파트 100, 120, 140m의 예측치가 92ns, 142ns, 170ns이며, 측정치가 190ns, 290ns, 370ns로서 차이는 98ns에서 200ns까지로 저층 아파트의 지붕 회절파와 벽면 반사파로 분석된다.

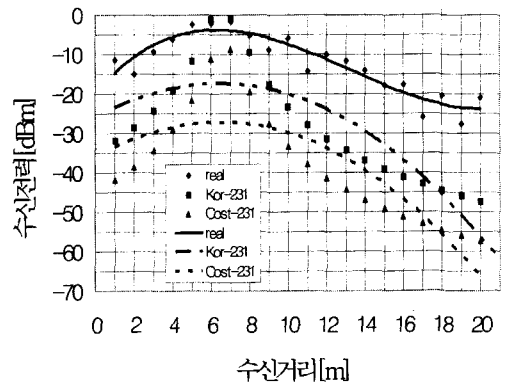


그림 3. 공업지역의 LOS에서 수신전력 비교

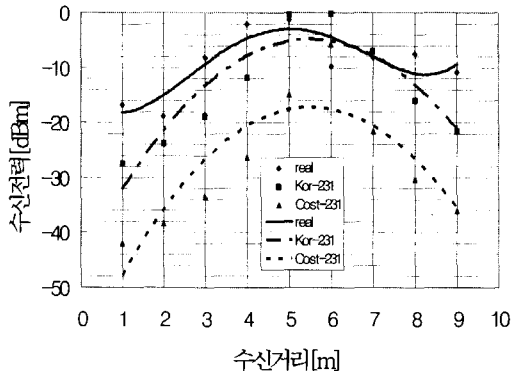


그림 4. 주거지역의 LOS에서 수신전력 비교

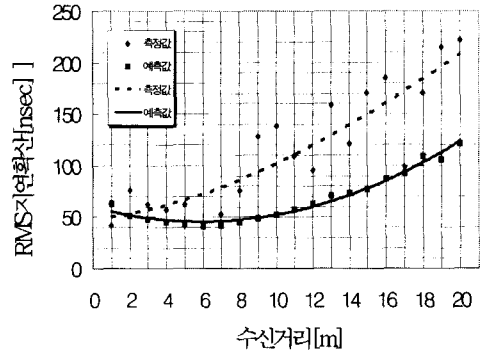


그림 7. 공업지역에서 LOS의 예측·측정 RMS 지연확산 비교

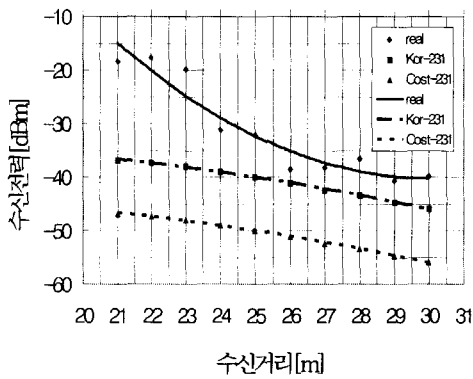


그림5. 공업지역에서 N-LOS의 예측·측정 수신전력비교

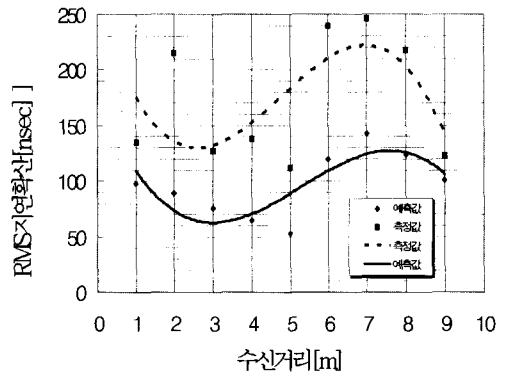


그림 8. 주거지역에서 LOS의 예측·측정 RMS 지연확산 비교

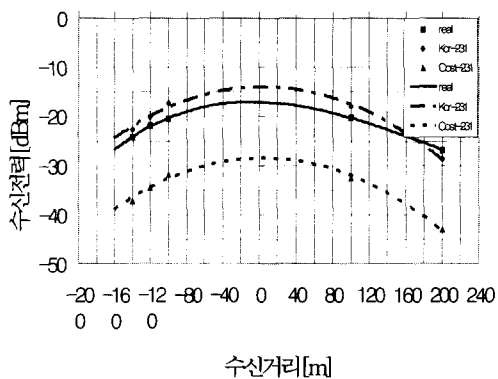


그림6. 주거지역에서 N-LOS의 예측·측정 수신전력비교

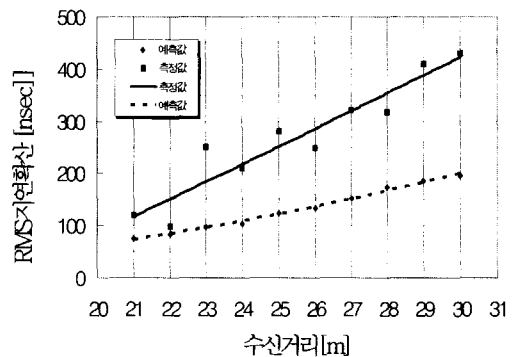


그림 9. 공업지역에서 N-LOS의 예측·측정 RMS 지연확산 비교

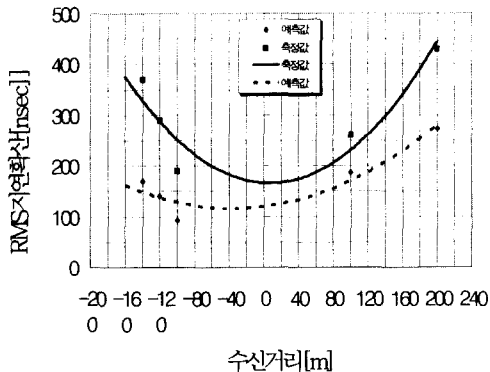


그림 10. 주거지역에서 N-LOS의 예측·측정 RMS지연확산 비교

### V. 결 론

본 논문에서는 이동통신 기지국 설치시 측정환경을 효율적이고 경제적으로 분석하기 위해서 한국의 도시계획법 시행령에 의해 지정된 지역세분을 기초로 4개의 대분류와 8개의 소구분으로 분류하였으며, 특성분류는 건폐율과 용적을 그리고 식물계수로 세분화하여 Kor-231 모델 개발을 위해 측정하고 분석하였다.

공업지역과 주거지역을 Kor-231모델의 전파환경 분류에 따라 변수를 적용하면 Cost-231모델에 비해 10dBm과 14.5dBm의 전파경로손실이 작은 예측값을 얻을 수 있었으며 이 값으로 측정치와 비교하였다. 따라서 LOS환경에서 측정된 수신전력이 Kor-231에서는 공업지역과 주거지역에서 25.5dB, 10.7dB를 차이가 난다. 또한 RMS 지연확산은 각각 101ns와 35ns의 차이를 가지므로 단순한 환경에서의 수신전력과 RMS 지연확산의 오차는 항상 공존하는 N-LOS 환경에 변화를 고려하여 모델을 적용해야 한다. N-LOS 환경에서 측정된 수신전력은 Kor-231에서 공업지역의 경우 4.1dB와 주거지역의 고층과 저층아파트지역은 2.3dB와 1.6dB를 차이를 가진다. 또한 예측한 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 Kor-231 모델의 수신전력은 잘 적용되나 RMS 지연확산은 평탄경로손실의 송·수신 안테나

높이와 거리와 다중 회절 영향의 주파수 파라미터만으로 정확한 예측이 어려우며 더 정확한 해석적인 모델의 적용이 필요하다.

### 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 light weight 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 micro cellular 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] M. F. Levy, "Diffraction studies in urban environment with wide-angle parabolic equation method," Electron Lett., vol. 28, pp. 1491-1492, May 1992.
- [7] J. D. Parsons., and J. G. Gardiner, Mobile, Communication Systems, New York : Halsted Press-John Wiley and Sons, 1989.
- [8] L. E. Vogler, "Radio Wave Diffraction by A Rounded Obstacle", Radio Science, 20(3), pp. 582~590, June. 1985.
- [9] J. Epstein, and D. W. Peterson, "An Experimental Study of Wave Propagation at 85 0MHz", Proc. IRE, vol. 41, pp. 595~611, 1953

